

(12)特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局(43) 国際公開日
2003年10月30日 (30.10.2003)

PCT

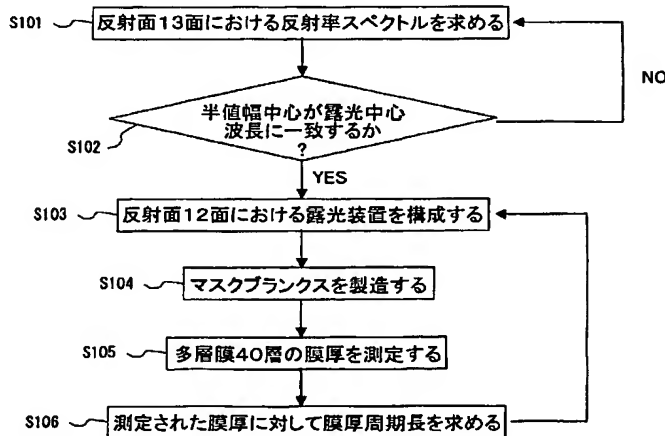
(10) 国際公開番号
WO 03/089964 A1

- (51) 国際特許分類⁷: G02B 5/26, 5/28, 5/08, G03F 1/16, 7/20, H01L 21/027, G21K 1/06
- (21) 国際出願番号: PCT/JP03/05000
- (22) 国際出願日: 2003年4月18日 (18.04.2003)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願2002-118941 2002年4月22日 (22.04.2002) JP
- (71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): ソニー株式会社 (SONY CORPORATION) [JP/JP]; 〒141-0001 東京都品川区北品川6丁目7番35号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者; および
- (75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 菅原 稔 (SUGAWARA, Minoru) [JP/JP]; 〒141-0001 東京都品川区北品川6丁目7番35号 ソニー株式会社内 Tokyo (JP).
- (74) 代理人: 中村 友之 (NAKAMURA, Tomoyuki); 〒105-0001 東京都港区虎ノ門1丁目2番3号 虎ノ門第一ビル9階 三好内外国特許事務所内 Tokyo (JP).
- (81) 指定国 (国内): KR, US.

[続葉有]

(54) Title: REFLECTION ELEMENT OF EXPOSURE LIGHT AND PRODUCTION METHOD THEREFOR, MASK, EXPOSURE SYSTEM, AND PRODUCTION METHOD OF SEMICONDUCTOR DEVICE

(54) 発明の名称: 露光光の反射体およびその製造方法、マスク、露光装置、並びに半導体装置の製造方法



S101...DETERMINE REFLECTANCE SPECTRUM ON REFLECTION PLANE 13

S102...HALF WIDTH AGREES WITH EXPOSURE CENTER WAVELENGTH?

S103...CONSTITUTE EXPOSURE SYSTEM ON REFLECTION PLANE 12

S104...PRODUCE MASK BLANK

S105...MEASURE THICKNESS OF MULTI-LAYER FILM 40 LAYER

S106...DETERMINE FILM THICKNESS CYCLE LENGTH FOR MEASURED FILM THICKNESS

(57) Abstract: A reflection element of an exposure light which allows a dependency of reflectance on wavelength after going through a plurality of reflection planes to agree with the exposure center wavelength of an exposure light even allowing for variations in thickness or the like to some extent to thereby ensure a sufficient energy reaching an object of exposure and a production method therefore, a mask, an exposure system, and a production method of a semiconductor device. A reflection element of an exposure light, used when an exposure is performed on an object of exposure in a lithography process for fabricating a semiconductor device, is so constructed as to have a multi-layer film structure consisting of a plurality of layers repeatedly laminated in the same sequence. During the laminating, the cycle length of a repeating laminate unit in the multi-layer film structure is set so that the half width of a reflectance agrees with the center wavelength of an ultra-short ultraviolet ray to be reflected when a specified number of reflection elements are passed through (S102).

(57) 要約: 膜厚ばらつき等がある程度許容しても、複数の反射面を経た場合の反射率の波長依存性を露光光の露光中心波長に一致させて、被露光体への到達エネルギーを十分に確保することのできる露光光の反射体およびその製造方法、マスク、露光装置、並びに半導体装置の製造方法である。半導体装置を製造するためのリソグラフィ工程で被露光体上への露光を行う際

に用いられる露光光の反射体を、複数の層が同一順で繰り返す

[続葉有]



(84) 指定国 (広域): ヨーロッパ特許 (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PT, RO, SE, SI, SK, TR).

2文字コード及び他の略語については、定期発行される各PCTガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語のガイダンスノート」を参照。

添付公開書類:

— 国際調査報告書

積層されてなる多層膜構造を有するように構成する。そして、そのときに、所定数の反射体を経た場合の反射率の半値幅中心と反射すべき極短紫外光の中心波長とが一致するように (S 1 0 2)、その多層膜構造における繰り返し積層単位の周期長を設定する。

明細書

露光光の反射体およびその製造方法、マスク、露光装置、並びに半導体装置の製造方法

5

技術分野

本発明は、半導体装置を製造するためのリソグラフィ工程にて、ウエハ等の被露光体上へ回路パターンを転写するための露光を行う際に用いられるもので、例えば露光用マスクのマスクブランクスや反射ミラーのように、露光光を反射する機能を有した露光光の反射体およびその製造方法に関する。また、本発明は、露光光を反射する機能を有したマスクに関する。さらにまた、本発明は、露光光の反射体を具備して構成された露光装置に関する。さらにまた、本発明は、露光用のマスクを用いた半導体装置の製造方法に関する。

15

背景技術

近年、半導体装置の微細化に伴い、ウエハ上に形成される回路パターンやその回路パターンを形成するためのレジストパターン等に対しては、パターン幅（線幅）やパターン間のピッチ等の極小化が要求されている。このような極小化の要求については、レジストの露光に用いる紫外光の波長をより短波長にすることで対応が可能となる。例えば、350nmの設計ルール of 半導体装置には 365nm の波長、250nm および 180nm の設計ルール of 半導体装置には 248nm の波長、130nm および 100nm の設計ルール of 半導体装置には 193nm の波長といったように、半導体装置の微細化が進

20

25

むほど、露光に用いる紫外光の波長も短波長化され、さらには 157nm の波長の紫外光が用いられるようになってきている。

一般に、これらの波長による解像度は、 $w = k_1 \times (\lambda / NA)$ というレイリーの式で表されることが知られている。ここで、 w は解像される最小幅のパターン、 NA は投影光学系のレンズの開口数、 λ は露光光の波長である。また、 k_1 は、主にレジストの性能および超解像技術の選択等により決定されるプロセス定数であって、最適なレジストおよび超解像技術を用いれば $k_1 = 0.35$ 程度まで選択できることが知られている。なお、超解像技術とは、マスクを透過し、マスク上遮光パターンで回折された光の ± 1 次回折光を選択的に用いることにより、波長よりも小さなパターンを得ようとするものである。

このレイリーの式によれば、例えば 157nm の波長を用いた場合に対応が可能な最小のパターン幅は、 $NA = 0.9$ のレンズを用いるとすれば、 $w = 61\text{nm}$ となることがわかる。すなわち、61nm よりも小さなパターン幅を得るためには、157nm よりもさらに短波長の紫外光を用いる必要がある。

このことから、最近では、157nm よりも短波長の紫外光として、極短紫外光 (EUV ; Extreme Ultra Violet) と呼ばれる 13.5nm の波長のものを用いることも検討されている。ただし、157nm の波長の紫外光までは、例えば CaF_2 (フッ化カルシウム) や SiO_2 (二酸化ケイ素) といった光透過性のある材料が存在するため、当該紫外光を透過させる構成のマスクおよび光学系を作製することができる。ところが、13.5nm の波長の極短紫外光については、当該極短紫外光を所望の厚さでもって透過させる材料が存在していない。そのため、13.5nm の波長の極短紫外光を用いる場

合には、光透過型のマスクおよび光学系ではなく、光を反射する反射型マスクおよび反射型光学系によって、マスクおよび光学系を構成する必要がある。

光反射型のマスクおよび光学系を用いた場合には、マスク面で
5 反射された光が、そのマスクに入射される光と相互に干渉することなく、投影光学系に導かれねばならない。そのため、マスクに入射される光は、必然的にマスク面の法線に対して角度 ϕ を持った斜め入射となる必要が生じる。この角度は、投影光学系のレンズの開口数 NA 、マスク倍率 m 、照明光源の大きさ σ から決まる。
10 具体的には、例えばウエハ上に5倍の縮小倍率を持つマスクを用いた場合、 $NA=0.3$ 、 $\sigma=0.8$ の露光装置においては、光が 3.44 ± 2.75 度の立体角を持ってマスク上に入射することになる。また、ウエハ上に4倍の縮小倍率を持つマスクを用いた場合、 $NA=0.25$ 、 $\sigma=0.7$ の露光装置においては、光が 3.58 ± 2.51 度の立体
15 角を持ってマスク上に入射することになる。

このような斜め入射の光に対応する反射型マスクとしては、極短紫外光を反射するマスクブランクスと、そのマスクブランクス上を所定パターンで覆って極短紫外光を吸収する吸収膜と、マスクブランクスと吸収膜との間に介在するバッファ膜とを具備するものが知られている。マスクブランクスは、 Si （ケイ素）層
20 と Mo （モリブデン）層とを交互に積層した構造で構成されるが、その積層の繰り返し数が40層であるものが一般的である。このマスクブランクス上を極短紫外光の吸収膜が所定パターンで覆うことによって、形成すべき回路パターンやレジストパターン等
25 に対応した選択的な入射光の反射が行われることになる。なお、バッファ膜は、吸収膜を形成する際のエッチングストッパとして、

あるいは吸収膜形成後の欠陥除去時のダメージ回避を目的として設けられている。

ところで、従来のマスクブランクスは、上述したように、S i 層とM o 層との積層の繰り返し数が40層であるものが一般的である。ここで、S i の屈折率は $0.9993-0.00182645i$ であり、M o の屈折率は $0.9211-0.00643543i$ である。 i は虚数単位である。また、S i 層およびM o 層の合計の厚さとM o 層の厚さとの比 Γ は、 $M o \text{ 層厚} / (S i \text{ 層厚} + M o \text{ 層厚}) = 0.4$ が適切であることが知られている。したがって、従来のマスクブランクスでは、露光に用いる極短紫外光の波長 λ を 13.5nm とすると、S i 層とM o 層の合計の膜厚が $(\lambda / 2) / (0.9993 \times 0.6 + 0.9211 \times 0.4) = 6.973\text{nm}$ 、S i 層の厚さが $6.9730 \times 0.6 = 4.184\text{nm}$ 、M o 層の厚さが $6.9730 \times 0.4 = 2.789\text{nm}$ となる。このようにして得られたS i 層とM o 層を40層繰り返して積層した場合におけるマスクブランクスの反射率を第1図に示す。なお、図例では、入射角度 4.84 度に対する反射率を示している。ここで、入射角度は、マスクブランクスの表面に対する法線となす角度として定義される。

また、S i 層とM o 層とを交互に積層した構造は、反射型マスクを構成するマスクブランクスだけではなく、反射型光学系を構成する反射ミラーにも全く同様に用いられる。すなわち、極短紫外光に対する反射ミラーとしては、S i 層とM o 層との積層の繰り返し数が40層であるものが一般的であり、極短紫外光の波長 λ を 13.5nm である場合にS i 層およびM o 層の厚さを適切化すると、第1図に示すような反射率が得られることになる。

ところで、極短紫外光を用いる場合には、露光装置の光源からウエハ上に塗布されたレジストまでの間に、例えば照明光学系の

ミラー反射面が 6 面、投影光学系のミラー反射面が 6 面、マスク
による反射面が 1 面の合計 13 面といったように、複数の反射面
を経ることが一般的である。このとき、光源から照射された極短
紫外光は反射面での反射時に減衰するが、その減衰が大きいと、
5 ウエハ上に塗布されたレジストまで十分にエネルギーが到達せ
ず、パターン形成等を好適に行えなくなってしまうおそれがある。

ウエハ上に塗布されたレジストに到達するエネルギーは、極短
紫外光が複数の反射面を経る場合、その複数面を経た反射率と光
源における光源強度とでもって見積もることができる。複数面を
10 経た反射率 R は、例えば合計 13 面の反射面を経る場合であれば、
以下に示す (1) 式によって得られる。ここで、 R_{TE} は反射面 1
面あたりの TE 波の反射率、 R_{TM} は反射面 1 面あたりの TM 波の
反射率である。

$$R = \{ (R_{TE} + R_{TM}) / 2 \}^{13} \cdots (1)$$

15 この (1) 式を用いて、第 1 図に示した反射率が得られるマス
クブランクスおよび反射ミラーを用いた場合の合計 13 面の反
射率 R を求めると、その反射率 R は、第 4 図に示すようになる。
図例によれば、反射率 R のスペクトルは、半値幅中心が極短紫外
光の露光中心波長である 13.5nm と一致していないことがわかる。
20 すなわち、反射面 1 面あたりの反射率の半値幅中心が露光中心波
長に一致したとしても (第 1 図参照)、合計 13 面の反射面を経
た場合の反射率 R は、必ずしもその半値幅中心が露光中心波長と
一致するとは限らず、波長依存性が露光中心波長から外れてしま
うことも起こり得る。これは、反射面 1 面あたりの反射率のピー
25 ク波長が極短紫外光の露光中心波長である 13.5nm と一致してい
ないことに起因する。

このように、複数の反射面を経た場合の反射率の波長依存性が極短紫外光の露光中心波長から外れてしまうと、その露光中心波長に対する減衰、すなわち光源における光源強度に対する減衰が大きくなってしまう。そのため、ウエハ上に塗布されたレジストの好適露光波長において十分にエネルギーが到達せず、パターン形成等を好適に行えなくなる蓋然性が非常に高くなる。

そこで、本発明は、複数の反射面を経た場合の反射率の波長依存性を、極短紫外光等の露光光の露光中心波長に一致させるようにすることで、被露光体への到達エネルギーを十分に確保することのできる露光光の反射体を提供することを目的とする。

また、半導体装置を製造するためのリソグラフィ工程においては、多数（多種類）の露光用マスクを使用することがある。さらには、露光装置が複数台存在する場合や、製造が複数工場で行われる場合等においては、同一製品および同一工程であっても、複数の露光用マスクを使用する場合が多い。これらの場合に、複数の露光用マスクの間では、その構成膜厚等に製造ばらつきが生じていることが十分に考えられる。

このような製造ばらつき、すなわち各露光用マスクの間での膜厚ばらつき等は、極短紫外光に対する反射率の半値幅中心のシフトを招き、ウエハ上に塗布されたレジストの好適露光波長における到達エネルギーを減少させる要因となり得るため、極力排除することが望ましい。しかしながら、例えばマスクブランクスの生産性を考慮すると、膜厚ばらつき等をあまりに厳密に制限することは現実的ではない。

そこで、本発明は、膜厚ばらつき等のある程度許容しても、複数の反射面を経た場合の反射率の波長依存性を露光光の露光中

心波長に一致させて、被露光体への到達エネルギーを十分に確保することのできる露光光の反射体およびその製造方法、マスク、露光装置、並びに半導体装置の製造方法を提供することを目的とする。

5

発明の開示

本発明は、上記目的を達成するために案出された露光光の反射体で、複数の層が同一順で繰り返し積層されてなる多層膜構造を有するとともに、所定数の反射体を経た場合の反射率の半値幅中心と反射すべき露光光の中心波長とが一致するように前記多層膜構造における繰り返し積層単位の周期長が設定されており、半導体装置を製造するためのリソグラフィ工程で露光光による被露光体上への露光を行う際に用いられることを特徴とする。

さらに、前記多層膜構造における繰り返し積層単位の周期長に加えて、前記繰り返し積層単位を構成する複数の層の膜厚比についても、所定数の反射体を経た場合の反射率の半値幅中心と反射すべき露光光の中心波長とが一致するように設定されていてもよい。

また、本発明は、上記目的を達成するために案出された露光光の反射体の製造方法である。すなわち、多層膜構造における繰り返し積層単位の周期長と、繰り返し積層単位を構成する複数の層の膜厚比とを、所定数の反射体を経た場合の反射率の半値幅中心と反射すべき露光光の中心波長とが一致するように設定して、前記複数の層が同一順で繰り返し積層されてなる前記多層膜構造を構成することを特徴とする。

また、本発明は、上記目的を達成するために案出されたマスク

で、複数の層が同一順で繰り返し積層されてなる多層膜構造を有する反射体部と、前記反射体部上を所定パターンで覆う吸収膜部とを備え、前記反射体部からの露光光の反射光と前記吸収膜部からの露光光の反射光との間で位相差が生じるように構成されているとともに、前記反射体部は、前記多層膜構造における繰り返し積層単位の周期長と、前記繰り返し積層単位を構成する複数の層の膜厚比とが、所定数の反射体を経た場合の反射率の半値幅中心と反射すべき露光光の中心波長とが一致するように設定されたものであることを特徴とする半導体装置を製造するためのリソグラフィ工程で露光光による被露光体上への露光を行う際に用いられるものである。

また、本発明は、上記目的を達成するために案出された露光装置で、複数の層が同一順で繰り返し積層されてなる多層膜構造を有した露光光の反射体を所定数具備するとともに、前記露光光の反射体は、前記多層膜構造における繰り返し積層単位の周期長と、前記繰り返し積層単位を構成する複数の層の膜厚比とが、前記所定数の反射体を経た場合の反射率の半値幅中心と反射すべき露光光の中心波長とが一致するように設定されたものであることを特徴とする半導体装置を製造するためのリソグラフィ工程で露光光による被露光体上への露光を行う際に用いられるものである。

また、本発明は、上記目的を達成するために案出された半導体装置の製造方法で、複数の層が同一順で繰り返し積層されてなる多層膜構造を有する反射体部と、前記反射体部上を所定パターンで覆う吸収膜部とを備え、前記反射体部からの露光光の反射光と前記吸収膜部からの露光光の反射光との間で位相差が生じるよ

うに構成されているとともに、前記反射体部は、前記多層膜構造における繰り返し積層単位の周期長と、前記繰り返し積層単位を構成する複数の層の膜厚比とが、所定数の反射体を経た場合の反射率の半値幅中心と反射すべき露光光の中心波長とが一致するように設定されたものであるマスクを用いて、半導体装置を製造するためのリソグラフィ工程で露光光による被露光体上への露光を行うことを特徴とする。

上記の露光光の反射体によれば、所定数の反射体を経た場合の反射率の半値幅中心と反射すべき露光光の中心波長とが一致するように多層膜構造における繰り返し積層単位の周期長が設定されていることから、当該反射体を所定数経た後における露光光の反射率は、その露光光の中心波長と一致することになる。したがって、所定数の反射体を経る場合であっても、露光光の強度に対する減衰が大きくなるのを抑制でき、被露光体への露光を行う際の到達エネルギーを十分に確保し得るようになる。

また、上記の露光光の反射体およびその製造方法、マスク、露光装置、並びに半導体装置の製造方法によれば、多層膜構造における繰り返し積層単位の周期長と、その繰り返し積層単位を構成する複数の層の膜厚比とが、所定数の反射体を経た場合の反射率の半値幅中心と反射すべき露光光の中心波長とが一致するように設定されている。すなわち、複数の層の膜厚比をも設定対象とすることで、多層膜構造の総膜厚がシフトしても、反射率の半値幅中心と露光中心波長とが一致するようにしている。したがって、許容し得る多層膜構造の総膜厚のばらつき幅が広がることになり、その場合であっても露光光の強度に対する減衰が大きくなるのを抑制でき、被露光体への露光を行う際の到達エネルギーを十

分に確保し得るようになる。

図面の簡単な説明

第 1 図は、極短紫外光の反射体が単体の場合における反射率の一例を示す説明図であり、具体的には $\text{Si } 4.184\text{nm} / \text{Mo } 2.789\text{nm}$ 、膜厚周期長 6.973nm で 40 層積層した多層膜構造の反射面 1 面による反射率を示す図である。

第 2 図は、本発明に係る露光光の反射体の概略構成例を示す側断面図である。

第 3 図は、本発明に係るマスクの概略構成例を示す斜視図である。

第 4 図は、極短紫外光の反射体を複数経た場合における反射率の一例を示す説明図であり、具体的には $\text{Si } 4.184\text{nm} / \text{Mo } 2.789\text{nm}$ 、膜厚周期長 6.973nm で 40 層積層した多層膜構造の反射面 13 面による反射率を示す図である。

第 5 図は、本発明に係る極短紫外光の反射体が単体の場合における反射率の一例を示す説明図であり、具体的には $\text{Si } 4.17\text{nm} / \text{Mo } 2.78\text{nm}$ 、膜厚周期長 6.95nm で 40 層積層した多層膜構造の反射面 1 面による反射率を示す図である。

第 6 図は、本発明に係る極短紫外光の反射体を複数経た場合における反射率の一例を示す説明図であり、具体的には $\text{Si } 4.17\text{nm} / \text{Mo } 2.78\text{nm}$ 、膜厚周期長 6.95nm で 40 層積層した多層膜構造の反射面 13 面による反射率を示す図である。

第 7 図は、本発明に係る極短紫外光の反射体の製造手順の一例を示すフローチャートである。

第 8 図は、多層膜構造を構成する各層の膜厚ばらつきがある場

合のウエハ上への到達エネルギーの相対比較の結果の一例を示す説明図である。

第 9 図は、多層膜構造の総膜厚にばらつきが生じた場合における反射体単体の反射率の一例を示す説明図であり、具体的には Si 4.17nm/Mo 2.78nm、膜厚周期長 6.95nm で 40 層積層した多層膜構造の総膜厚 $d_{total}=278\text{nm}$ について薄い場合と厚い場合における反射率 R_{mask} を示す図である。

第 10 図は、多層膜構造の総膜厚にばらつきが生じた場合における反射体を複数経た後の反射率の一例を示す説明図であり、具体的には Si 4.17nm/Mo 2.78nm、膜厚周期長 6.95nm で 40 層積層し総膜厚 $d_{total}=278\text{nm}$ で製作された多層膜ミラー 12 枚と、総膜厚 d_{total} にばらつきが生じた多層膜構造のマスクブランクス 1 枚とを経た後の反射率 R_{total} を示す図である。

第 11 図は、多層膜構造の総膜厚にばらつきが生じた場合にウエハ上に到達する相対エネルギーの一例を示す説明図であり、具体的には Si 4.17nm/Mo 2.78nm、膜厚周期長 6.95nm で 40 層積層し総膜厚 $d_{total}=278\text{nm}$ で製作された多層膜ミラー 12 枚と、総膜厚 d_{total} にばらつきが生じた多層膜構造のマスクブランクス 1 枚とを経た後の相対エネルギー $E_{relative}$ を示す図である。

第 12 図は、多層膜構造における膜厚周期長と最適な Γ 値との関係の一例を示す説明図である。

第 13 図は、本発明に係る極短紫外光の反射体で最適な Γ 値を選択したものが単体の場合における反射率の一例を示す説明図であり、具体的には Si 4.17nm/Mo 2.78nm、膜厚周期長 6.95nm で 40 層積層した多層膜構造に対し総膜厚 d_{total} と Γ 値とが最適な組み合わせである場合の反射面 1 面あたりの反射率 R_{mask} を示

す図である。

第 1 4 図は、本発明に係る極短紫外光の反射体で最適な Γ 値を選択したものを複数経た場合における反射率の一例を示す説明図であり、具体的には $\text{Si } 4.17\text{nm} / \text{Mo } 2.78\text{nm}$ 、膜厚周期長 6.95nm で 40 層積層し総膜厚 $d_{\text{total}} = 278\text{nm}$ で製作された多層膜ミラー 12 枚と、最適な Γ 値を選択したマスクブランク 1 枚とを経た後の反射率 R_{total} を示す図である。

第 1 5 図は、本発明に係る極短紫外光の反射体で最適な Γ 値を選択したものを複数経た場合にウエハ上に到達する相対エネルギーの一例を示す説明図であり、具体的には $\text{Si } 4.17\text{nm} / \text{Mo } 2.78\text{nm}$ 、膜厚周期長 6.95nm で 40 層積層し総膜厚 $d_{\text{total}} = 278\text{nm}$ で製作された多層膜ミラー 12 枚と、最適な Γ 値を選択したマスクブランク 1 枚とを経た後の相対エネルギー E_{relative} を示す図である。

第 1 6 図は、 Γ 値を最適化した場合としない場合とについて、総膜厚のばらつきの許容値を相対エネルギーの関数としてプロットした結果の一例を示す説明図である。

第 1 7 図は、 Γ 値を最適化しない場合における総膜厚のばらつきに対するハーフトーン位相シフトマスクの各波長の TE 波位相差分布の一例を示す説明図である。

第 1 8 図は、 Γ 値を最適化しない場合における総膜厚のばらつきに対するハーフトーン位相シフトマスクの各波長の TM 波位相差分布の一例を示す説明図である。

第 1 9 図は、 Γ 値を最適化した場合における総膜厚のばらつきに対するハーフトーン位相シフトマスクの各波長の TE 波位相差分布の一例を示す説明図である。

第 20 図は、 Γ 値を最適化した場合における総膜厚のばらつきに対するハーフトーン位相シフトマスクの各波長の TM 波位相差分布の一例を示す説明図である。

第 21 図は、 Γ 値を最適化しない場合における総膜厚のばらつきに対するハーフトーン位相シフトマスクの各波長の反射率比分布の一例を示す説明図である。

第 22 図は、 Γ 値を最適化した場合における総膜厚のばらつきに対するハーフトーン位相シフトマスクの各波長の反射率比分布の一例を示す説明図である。

10 第 23 図は、露光装置の概略構成例を示す模式図である。

発明を実施するための最良の形態

以下、図面に基づき本発明に係る極短紫外光の反射体およびその製造方法、位相シフトマスク、並びに露光装置について説明する。なお、当然のことではあるが、本発明は、以下に述べる実施の形態に限定されるものではない。

先ず、本発明に係る露光装置の一例について説明する。ここで説明する露光装置は、半導体装置の製造工程、特に半導体装置の回路パターンを露光用マスクからウエハ上に転写するためのリソグラフィ工程で、極短紫外光による被露光体（ウエハ上のレジスト）への露光を行う際に用いられるものである。さらに詳しくは、中心波長が 13.5nm の極短紫外光を照射する光源から、被露光体であるウエハ上のレジストまでの間に、その極短紫外光が、光学系のミラー反射面を 12 面、露光用マスクによる反射面を 1
25 面、合計で 13 面の反射面を経るように構成されたものである。

続いて、このような露光装置にて用いられる極短紫外光の反射

体、すなわち本発明に係る極短紫外光の反射体について説明する。

ここで説明する極短紫外光の反射体は、光学系のミラー反射面を構成する反射ミラーまたは露光用マスクの反射面を構成するマスクブランクスとして用いられるものである。さらに詳しくは、

5 第2図に示すように、例えば SiO_2 （二酸化ケイ素）等の低膨張ガラス1上に、Si層2およびMo層3が、当該ガラス1上から反射面（表面）側に向かって、 $\text{Mo/Si/Mo/Si}\cdots\text{Mo/Si}$ といった順に、それぞれ40層ずつ同一順で繰り返し積層されてなる多層膜構造を有したものである。このような多層膜構造の反射体4は、例えばスパッタリングにより形成することが考えられる。具体的には、例えばイオンビームスパッタ装置を用いて、Si層2、Mo層3をそれぞれ所定の成膜速度で成膜することが考えられる。

この反射体4を用いて露光用の反射型マスクを構成するため
15 には、第3図に示すように、その反射体4上に、Ru（ルテニウム）等からなるバッファ膜5を介して、極短紫外光吸収体材料であるTa₂N（窒化タンタル）等からなる吸収膜6を形成すればよい。つまり、反射体4の光反射面側を所定パターンの吸収膜6で覆うことにより、形成すべき回路パターンやレジストパターン等
20 に対応した選択的な入射光の反射を行うことが可能となる。また、反射ミラーを構成する場合であれば、反射体4の光反射面をそのまま用いて、入射光の反射を行えばよい。なお、このときの光学条件としては、入射光である極短紫外光の中心波長（露光波長）が13.5nm、その露光条件が $\text{NA}=0.25$ 、 $\sigma=0.70$ である場合が
25 挙げられる。

ところで、このような多層膜構造の反射体については、既に説

明したように、S i の屈折率が $0.9993-0.00182645i$ 、M o の屈折率が $0.9211-0.00643543i$ 、極短紫外光の波長 λ が 13.5nm であることから、S i 層およびM o 層の合計の厚さとM o 層の厚さとの比 Γ を 0.4 とし、S i 層とM o 層の合計の膜厚を $(\lambda / 2) /$
5 $(0.9993 \times 0.6 + 0.9211 \times 0.4) = 6.973\text{nm}$ 、S i 層の厚さを $6.9730 \times 0.6 = 4.184\text{nm}$ 、M o 層の厚さを $6.9730 \times 0.4 = 2.789\text{nm}$ とすることが一般的である。ただし、このように構成した多層膜構造の反射体では、第1図に示すように、単一の場合における反射率の半値幅中心は露光中心波長に一致しているが、そのピーク波長が
10 露光中心波長から外れているため、合計13面の反射面を経た場合の反射率 R が、第4図に示すように、必ずしもその半値幅中心が露光中心波長と一致せずに、波長依存性が露光中心波長から外れてしまうことも起こり得る。

このことから、本実施形態で説明する多層膜構造の反射体4は、
15 合計13面の反射面を経た場合であっても、その場合の反射率が露光中心波長と一致し、これによりレジストへの到達エネルギーを十分に確保できるようにすべく、S i 層2とM o 層3の繰り返し積層単位の膜厚周期長が、従来とは異なるように設定されている。すなわち、本実施形態で説明する反射体4は、多層膜構造に
20 おける繰り返し積層単位の周期長が、合計13面の反射面を経た場合の反射率の半値幅中心と反射すべき極短紫外光の中心波長とが一致するように設定されている。

具体的には、反射体が単一の場合における反射率のピーク波長が露光中心波長から外れていることを考慮して、そのずれ量に応じた補正を極短紫外光の波長 λ の値に加え、膜厚比 Γ の値を 0.4
25 としたまま、S i 層2とM o 層3の合計の膜厚を $(\lambda / 2) /$

($0.9997 \times 0.6 + 0.9221 \times 0.4$) の式によって特定する。これにより、本実施形態で説明する反射体 4 は、S i 層 2 と M o 層 3 の合計膜厚、すなわち繰り返し積層単位の周期長が 6.95nm となる構成を具備することになる。なお、このとき、 $\Gamma = 0.4$ であることから、S i 層 2 の 1 層あたりの膜厚は 4.17nm、M o 層 3 の 1 層あたりの膜厚は 2.78nm となる。

このように構成された反射体 4 では、単一の場合における反射率スペクトルについてみれば、第 5 図に示すように、その半値幅中心は露光中心波長と一致しない。ところが、合計 13 面の反射面を経た場合の反射率 R については、第 6 図に示すように、その半値幅中心が露光中心波長と一致することになる。これは、多層膜構造における繰り返し積層単位の膜厚周期長、すなわち光学的な周期長が従来とは異なるため、その多層膜構造にて干渉し強め合う波長も異なることとなり、これにより反射率のピーク波長がずれるからであると考えられる。

ここで、このような構成の反射体 4 の製造手順について説明する。第 7 図は、反射体の製造手順の一例を示すフローチャートである。図例のように、反射体 4 の製造にあたっては、先ず、露光装置における反射体 4 の搭載数の分、具体的には合計 13 面の反射面を経た場合の反射率スペクトルを求める（ステップ 101、以下ステップを「S」と略す）。このとき、反射率スペクトルは、反射体を試作して実測しても、あるいはシミュレーション技術を利用して求めてもよい。そして、反射率スペクトルを求めると、その反射率スペクトルの半値幅中心が極短紫外光の露光中心波長に一致するか否かを判断する（S 102）。この判断の結果、互いが一致しなければ、それぞれが一致するように多層膜構造に

おける S i 層 2 と M o 層 3 の膜厚周期長を異ならせた後（再設定した後）、再び合計 13 面の反射面を経た場合の反射率スペクトルを求め（S 1 0 1）、これを双方が互いに一致するまで繰り返す。なお、多層膜構造における S i 層 2 と M o 層 3 の膜厚は、例
 5 えばスパッタリングにおける成膜速度を適宜調整することによって所望する値に形成することが考えられる。

このようにして得た反射体 4（例えば、膜厚周期長 6.95nm で $\Gamma = 0.4$ となる反射体）を用いて露光装置、特に反射ミラーからなる光学系を構成すれば、極短紫外光の光源からウエハ上のレジ
 10 ストまでの間に当該極短紫外光が合計 13 面の反射面を経る場合であっても、その場合の反射率 R が露光中心波長と一致するようになる。したがって、極短紫外光の強度に対する減衰が大きくなるのを抑制でき、レジストへの露光を行う際の到達エネルギーを十分に確保できるようになる。

ところで、露光装置にて用いられる反射体 4 のうち、特に露光用マスクを構成するマスクブランクスについては、転写すべき回路パターンに応じて頻繁に交換されるものであるため、それぞれの
 15 個体差、すなわち各マスクブランクスにおける多層膜構造に膜厚ばらつきが生じることが避けられない。多層膜構造の膜厚ばらつきには、大別すると、各 S i 層 2 の膜厚 d_{Si} のばらつきおよび各 M o 層 3 の膜厚 d_{Mo} のばらつきと、40 層に積層された後の総膜厚についての膜厚 d_{total} のばらつきとの 2 つがある。これらの
 20 関係は、以下に示す（2）式によって表される。

$$d_{total} = \sum_j^{40} djSi + \sum_j^{40} djMo \quad \cdots (2)$$

25 ただし、これら 2 つの膜厚ばらつきのうち、S i 層 2 の膜厚 d

s_i のばらつきおよび Mo 層 3 の膜厚 d_{Mo} のばらつきは、総膜厚 d_{total} のばらつきが所望範囲内に属するように制限されていれば、極短紫外光反射時の強度低下に大きな影響を及ぼすことがない。このことは、例えば露光装置が、膜厚周期長 6.95nm で $\Gamma = 0.4$ となるように構成された合計 12 枚の反射ミラーと、膜厚ばらつきのあるマスクブランクから構成された露光用マスクとを搭載している場合を考えると、合計 12 枚の反射ミラーを経た後の反射率 R_{12} と、膜厚ばらつきのあるマスクブランクの反射率 R_{mask} とから、これらを全て経た後の合計 13 面の反射率 R_{total} を、
 以下に示す (3) 式に基づいて求めることによって確認できる。

$$R_{total} = R_{12} \times R_{mask} \cdots (3)$$

具体的には、 d_{s_i} および d_{Mo} にばらつきを持つマスクブランクにおいて、標準偏差 σ を用いて $3\sigma = 0.5\text{nm}$ および $3\sigma = 1.0\text{nm}$ の場合にウエハ上のレジストまで到達するエネルギーと、 $3\sigma = 0.0\text{nm}$ の場合のエネルギーとを、それぞれ相対的に比較する。さらに詳しくは、 $3\sigma = 0.5\text{nm}$ の場合のエネルギー $E_{(3\sigma=0.5)} = \int R_{total} d\lambda$ と、 $3\sigma = 1.0\text{nm}$ の場合のエネルギー $E_{(3\sigma=1.0)} = \int R_{total} d\lambda$ とを求め、これらを $3\sigma = 0.0\text{nm}$ の場合のエネルギー $E_{(3\sigma=0)} = \int R_{total} d\lambda$ と比較する。この比較は、以下に示す (4) 式および (5) 式を用いて行えばよい。

$$E_{relative} = E_{(3\sigma=0.5)} / E_{(3\sigma=0)} \cdots (4)$$

$$E_{relative} = E_{(3\sigma=1.0)} / E_{(3\sigma=0)} \cdots (5)$$

これらの (4)、(5) 式を用いて求めた 3 種類のばらつき (ばらつき A ~ C) についての到達エネルギーの相対比較の結果を第 8 図に示す。なお、ばらつき A ~ C は、それぞればらつきの態様が異なっているものとする。この場合において、経験則に基づい

て $E_{\text{relative}} \geq 0.95$ であることを判定基準とすると、図例からも明らかなように、 $3\sigma = 0.5\text{nm}$ の場合にはエネルギーの到達度が問題になることはなく、また $3\sigma = 1.0\text{nm}$ の場合であっても、2種類のばらつき（ばらつき A, B）については問題がない。このよ

5 うな結果に対して、実際のマスクブランクス製造工程においては、 $3\sigma = 0.5\text{nm}$ の場合よりもばらつき幅を小さく制御することが可能である。したがって、これらの結果を総合的に勘案すれば、Si 層 2 の膜厚 d_{Si} および Mo 層 3 の膜厚 d_{Mo} にばらつきが生じていても、これらのばらつきが問題になることはないと言える。

10 ところが、総膜厚 d_{total} のばらつきについては、各層の膜厚 d_{Si} , d_{Mo} のばらつきとは異なり、極短紫外光反射時の強度低下に大きな影響を及ぼすことになる。これは、例えば $\Gamma = 0.4$ となるように構成された多層膜構造の場合、上述したように反射率スペクトルの半値幅中心が極短紫外光の露光中心波長と一致するよ

15 うにしても、その多層膜構造の総膜厚 d_{total} にばらつきが生じ、所望値より薄くなってしまうと、半値幅中心が露光中心波長よりも短波長側にシフトしてしまい、また所望値より厚くなってしまうと、半値幅中心が露光中心波長よりも長波長側にシフトしてしまうからである。例えば、 $\Gamma = 0.4$ とし、Si 層 2 の膜厚が 4.17nm 、

20 Mo 層 3 の膜厚が 2.78nm 、これらの繰り返し積層単位の周期長が 6.95nm で、これらを各 40 層積層した総膜厚 $d_{\text{total}} = 278\text{nm}$ の多層膜構造について、その総膜厚 d_{total} に $-3\text{nm} \sim +3\text{nm}$ のばらつきが生じた場合における反射率 R_{mask} を第 9 図に示す。図例からも、総膜厚 d_{total} のばらつきに応じて、反射率 R_{mask} の半値

25 幅中心が露光中心波長の短波長側または長波長側にシフトしてしまうことがわかる。

したがって、総膜厚 d_{total} のばらつきについては、各層の膜厚 d_{Si} , d_{Mo} のばらつきとは異なり、そのばらつき幅がある一定の許容範囲内に属するように制限する必要がある。

総膜厚 d_{total} のばらつき幅は、例えば $\Gamma = 0.4$ となるように構成された多層膜構造の場合、以下のようにして求めることができる。まず、第 9 図に示した結果を基に、総膜厚 d_{total} のばらつきに対する合計 13 面の反射率 R_{total} を求める。その結果を第 10 図に示す。そして、第 10 図に示す結果から、ウエハ上のレジストまで到達するエネルギーを求めて、それぞれ相対的に比較する。

具体的には、例えば総膜厚 d_{total} を -3 nm から $+3\text{ nm}$ まで変化させ、それぞれの場合における到達エネルギー $E(\Delta d_{total} = -3) = \int R_{total} d\lambda$, $E(\Delta d_{total} = -2) = \int R_{total} d\lambda$, $E(\Delta d_{total} = -1) = \int R_{total} d\lambda$, $E(\Delta d_{total} = +1) = \int R_{total} d\lambda$, $E(\Delta d_{total} = +2) = \int R_{total} d\lambda$ および $E(\Delta d_{total} = +3) = \int R_{total} d\lambda$ を求め、これらをばらつきのない場合の到達エネルギー $E(\Delta d_{total} = 0) = \int R_{total} d\lambda$ と比較する。

すなわち、これら d_{total} のばらつきに対するウエハ上に到達する相対エネルギー $E_{relative} = E(\Delta d_{total} = -3) / E(\Delta d_{total} = 0)$, $E_{relative} = E(\Delta d_{total} = -2) / E(\Delta d_{total} = 0)$, $E_{relative} = E(\Delta d_{total} = -1) / E(\Delta d_{total} = 0)$, $E_{relative} = E(\Delta d_{total} = 0) / E(\Delta d_{total} = 0)$, $E_{relative} = E(\Delta d_{total} = +1) / E(\Delta d_{total} = 0)$, $E_{relative} = E(\Delta d_{total} = +2) / E(\Delta d_{total} = 0)$, $E_{relative} = E(\Delta d_{total} = +3) / E(\Delta d_{total} = 0)$ を求める。このようにして得られた $E_{relative}$ の比較結果を第 11 図に示す。

このようにして得られた Δd_{total} に対する $E_{relative}$ の比較結果から、 d_{total} のばらつきの許容範囲を求めることができる。すな

わち、経験則に基づいて $E_{\text{relative}} \geq 0.95$ であることを判定基準とすると、第 11 図に示した結果からも明らかなように、許容される d_{total} のばらつきは、 $-2.195\text{nm} \sim +2.755\text{nm}$ の範囲であり、レンジで 4.95nm となることがわかる。つまり、 $\Gamma = 0.4$ となるように構成された多層膜構造の場合、基準値 $d_{\text{total}} = 278\text{nm}$ に対して
5 1.78% のばらつきが許容されることになる。

しかしながら、例えばマスクブランクス生産性を考慮すると、許容される d_{total} のばらつきは、その幅が大きいほうが望ましいことは言うまでもない。この点については、 Γ を一定値に固定した状態で総膜厚 d_{total} のばらつきが許容範囲に属するように多層膜構造を構成するのではなく、上述した多層膜構造における膜厚周期長とともに最適な Γ 値を選択することによって、 d_{total} のばらつきの許容範囲拡大を実現することが可能である。

ここで、最適な Γ 値の選択について詳しく説明する。例えば、
15 多層膜構造における膜厚周期長と最適な Γ 値との関係は、第 12 図に示すように与えられる。具体的には、膜厚周期長 6.88nm で $\Gamma = 0.25$ (このときの総膜厚 $d_{\text{total}} = 275.2\text{nm}$ 、S i 層の 1 層あたりの膜厚 $= 5.1600\text{nm}$ 、M o 層の 1 層あたりの膜厚 $= 1.7200\text{nm}$)、膜厚周期長 6.90nm で $\Gamma = 0.30$ (このときの総膜厚 $d_{\text{total}} =$
20 276.0nm 、S i 層の 1 層あたりの膜厚 $= 4.8300\text{nm}$ 、M o 層の 1 層あたりの膜厚 $= 2.0700\text{nm}$)、膜厚周期長 6.92nm で $\Gamma = 0.35$ (このときの総膜厚 $d_{\text{total}} = 276.8\text{nm}$ 、S i 層の 1 層あたりの膜厚 $= 4.4980\text{nm}$ 、M o 層の 1 層あたりの膜厚 $= 2.4220\text{nm}$)、膜厚周期長 6.95nm で $\Gamma = 0.40$ (このときの総膜厚 $d_{\text{total}} = 278.0\text{nm}$ 、S i 層
25 の 1 層あたりの膜厚 $= 4.1700\text{nm}$ 、M o 層の 1 層あたりの膜厚 $= 2.7800\text{nm}$)、膜厚周期長 6.98nm で $\Gamma = 0.45$ (このときの総膜厚

$d_{total} = 279.2\text{nm}$ 、S i 層の 1 層あたりの膜厚 $= 3.8390\text{nm}$ 、M o 層の 1 層あたりの膜厚 $= 3.1410\text{nm}$ 、膜厚周期長 7.01nm で $\Gamma = 0.50$ (このときの総膜厚 $d_{total} = 280.4\text{nm}$ 、S i 層の 1 層あたりの膜厚 $= 3.5050\text{nm}$ 、M o 層の 1 層あたりの膜厚 $= 3.5050\text{nm}$)、膜厚周期長 7.03nm で $\Gamma = 0.55$ (このときの $d_{total} = 281.2\text{nm}$ 、S i 層の 1 層あたりの膜厚 $= 3.1635\text{nm}$ 、M o 層の 1 層あたりの膜厚 $= 3.8665\text{nm}$)、膜厚周期長 7.05nm で $\Gamma = 0.60$ (このときの $d_{total} = 282.0\text{nm}$ 、S i 層の 1 層あたりの膜厚 $= 2.8200\text{nm}$ 、M o 層の 1 層あたりの膜厚 $= 4.2300\text{nm}$) である。

10 このように最適な Γ 値を選択した場合における多層膜構造単体、すなわち反射面 1 枚における反射率を第 13 図に示す。図例によれば、膜厚周期長と Γ 値とを最適に組み合わせることで、総膜厚 d_{total} がシフトしても、ピーク強度を与える波長は変化しないことがわかる。

15 また、最適な Γ 値を選択した場合における合計 13 面の反射率 R_{total} を第 14 図に示す。図例によれば、反射率の半値幅中心が常に 13.5nm の露光中心波長に一致することがわかる。

第 14 図に示す結果から、ウエハ上のレジストまで到達するエネルギーを求めて、それぞれ相対的に比較する。具体的には、最適な Γ 値を選択したそれぞれの場合における到達エネルギー E ($\Gamma = 0.25$) $= \int R_{total} d\lambda$ 、 E ($\Gamma = 0.30$) $= \int R_{total} d\lambda$ 、 E ($\Gamma = 0.35$) $= \int R_{total} d\lambda$ 、 E ($\Gamma = 0.40$) $= \int R_{total} d\lambda$ 、 E ($\Gamma = 0.45$) $= \int R_{total} d\lambda$ 、 E ($\Gamma = 0.50$) $= \int R_{total} d\lambda$ 、 E ($\Gamma = 0.55$) $= \int R_{total} d\lambda$ および E ($\Gamma = 0.60$) $= \int R_{total} d\lambda$ を求め、これらを基準となる E ($\Gamma = 0.40$) $= \int R_{total} d\lambda$ と比較する。

すなわち、これら d_{total} のばらつきに対するウエハ上に到達す

る相対エネルギー $E_{\text{relative}} = E(\Gamma = 0.25) / E(\Gamma = 0.40)$ 、 $E_{\text{relative}} = E(\Gamma = 0.30) / E(\Gamma = 0.40)$ 、 $E_{\text{relative}} = E(\Gamma = 0.35) / E(\Gamma = 0.40)$ 、 $E_{\text{relative}} = E(\Gamma = 0.40) / E(\Gamma = 0.40)$ 、 $E_{\text{relative}} = E(\Gamma = 0.45) / E(\Gamma = 0.40)$ 、 $E_{\text{relative}} = E(\Gamma = 0.50) / E(\Gamma = 0.40)$ 、
 5 $E_{\text{relative}} = E(\Gamma = 0.55) / E(\Gamma = 0.40)$ 、 $E_{\text{relative}} = E(\Gamma = 0.60) / E(\Gamma = 0.40)$ を求める。このようにして得られた E_{relative} の比較結果を第 15 図に示す。

このようにして得られた E_{relative} の比較結果から、 d_{total} のばらつきの許容範囲を求めることができる。すなわち、経験則に基づいて $E_{\text{relative}} \geq 0.95$ であることを判定基準とすると、第 15 図
 10 に示した結果からも明らかなように、許容される d_{total} のばらつきは、 $-2.220\text{nm} \sim +3.585\text{nm}$ の範囲であり、レンジ幅で 5.805nm となることがわかる。これは、基準値 $d_{\text{total}} = 278\text{nm}$ に対して 2.09% のばらつきが許容されることを意味する。

つまり、 Γ を一定値に固定するのではなく、膜厚周期長とともに最適な Γ 値を選択して多層膜構造を構成すれば、その多層膜構造の総膜厚 d_{total} のばらつき許容値が増大する。第 16 図には、 Γ 値を最適化した場合としない場合とについて、総膜厚 d_{total} のばらつきの許容値を E_{relative} の関数としてプロットした結果を示
 20 す。図例からも明らかなように、 Γ 値を最適化した場合は、 Γ 値を最適化しない場合よりもばらつき許容値が増大し、同一のばらつき幅であれば Γ 値を最適化しない場合に比べて大きなエネルギーが得られることがわかる。

このことから、露光装置にて用いられる反射体 4 のうち、特に
 25 露光用マスクを構成するマスクブランクスについては、その製造過程において、膜厚周期長とともに最適な Γ 値を選択して多層膜

構造を構成することが考えられる。すなわち、マスクブランクスの製造工程において、 d_{total} が $\Gamma = 0.40$ における d_{total} の基準値 278nm からずれている場合には、 Γ 値と d_{total} の最適関係が得られるように第 12 図に基づいて成膜条件を選択すればよい。

- 5 具体的には、第 7 図に示すように、既に説明したように膜厚周期長が設定された反射ミラーを用いて反射面が 12 面の露光装置を構成した後 (S103)、その露光装置にて用いられるマスクブランクスを製造するが (S104)、その製造にあたって、
10 先ず、マスクブランクスを構成する多層膜構造の総膜厚 d_{total} を求める (S105)。このとき、総膜厚 d_{total} は、マスクブランクスを試作して実測しても、あるいはシミュレーション技術を利用して求めてもよい。また、このときの多層膜構造は、 $\Gamma = 0.40$ であるものとする。

- 15 総膜厚 d_{total} を求めると、その総膜厚 d_{total} に対して膜厚周期長を求め (S106)、その膜厚周期長が所定に基準値、例えば $\Gamma = 0.40$ の場合における基準値である 278nm からずれているか否かを判断する。そして、基準値からずれている場合には、 Γ 値の最適化を行い、膜厚周期長および Γ 値を異ならせた後 (再設定した後)、再び上述したような各ステップを繰り返す。

- 20 つまり、マスクブランクスの製造にあたっては、その多層膜構造における繰り返し積層単位の周期長に加えて、繰り返し積層単位を構成する Si 層および Mo 層の膜厚比である Γ 値についても、合計 13 面の反射率 R_{total} の半値幅中心と極短紫外光の中心波長とが一致するように設定して (第 14 図参照)、その多層膜
25 構造を構成するようにする。

このようにして得たマスクブランクスをを用いて露光用マスク

を構成すれば、許容し得る多層膜構造の総膜厚 d_{total} のばらつき幅が広がるため、そのマスクブランク（露光用マスク）の生産性向上が期待でき、結果として半導体装置の製造効率向上や製造コスト削減等を実現し得るようになる。しかも、その場合であっても、極短紫外光の強度に対する減衰が大きくなるのを抑制できるため、レジストへの露光を行う際の到達エネルギーを十分に確保でき、半導体装置の製造品質等が損なわれてしまうのを未然に回避し得るようになる。

なお、ここでは、マスクブランクスの製造にあたって Γ 値の最適化を行う場合を例に挙げて説明したが、反射ミラーの製造にあたって Γ 値を最適化してもよいことは勿論である。すなわち、本実施形態で説明した Γ 値の最適化は、極短紫外光の反射体の全般に適用することが可能である。したがって、例えばハーフトーン位相シフトマスクにおけるブランクスの膜厚ばらつきについても、 Γ 値の最適化を適用することによって顕著な効果が得られるようになる。

ここで、ハーフトーン位相シフトマスクにおけるブランク스에 Γ 値の最適化を適用した場合について説明する。ここでは、ハーフトーン位相シフトとして、極短紫外光を反射する多層膜構造のマスクブランクス上に、Ru 膜を介して、極短紫外光吸収体材料である TaN 膜が形成されているものを例に挙げる。このハーフトーン位相シフトマスクでは、マスクブランクスの反射面からの反射光と TaN 膜の表面からの反射光との位相差を 180 度にするこことで、位相シフトマスクとしての機能を果たすようになっている。位相差を 180 度となる膜厚は、例えば Ru 膜が 13 nm、TaN 膜が 30 nm である。

このようなハーフトーン位相シフトマスクにおいて、マスクブランクス
の総膜厚 d_{total} のばらつきに対して、 Γ 値を最適化しない
場合の位相差の波長依存性を第 17 図および第 18 図に示す。
なお、第 17 図は TE 波の位相差分布を示す図であり、第 18 図
5 は TM 波の位相差分布を示す図である。これらの図例によれば、
 Γ 値を最適化しない場合には、位相差の範囲が 167 度から 184 度
の間に分布していることがわかる。

これに対して、 Γ 値を最適化した場合におけるマスクブランクス
の総膜厚 d_{total} のばらつきに対する位相差の波長依存性を第 1
10 9 図および第 20 図に示す。なお、第 19 図は TE 波の位相差分
布を示す図であり、第 20 図は TM 波の位相差分布を示す図であ
る。これらの図例によれば、 Γ 値を最適化した場合には、167 度
から 183 度の間に位相差の分布幅が改善されることがわかる。す
なわち、 Γ 値を最適化することで、位相差の分布幅が 6 % 程度改
15 善されることになる。

また、マスクブランクス of 総膜厚 d_{total} のばらつきに対して Γ
値を最適化しない場合の Ru 膜と TaN 膜との反射率 $T_{(Ru+TaN)}$ と
マスクブランクスからの反射率 T_{blank} との比 $T_{ratio} = T_{(Ru+TaN)} /$
 T_{blank} を第 21 図に示す。この比 T_{ratio} は、位相差分布とともに、
20 分布がより小さくなることが望ましい。これに対して、 Γ 値を最
適化した場合における比 T_{ratio} を第 22 図に示す。これらの図例
を比較すると、 Γ 値を最適化した場合は、反射率比の波長依存性
が小さくなることがわかる。

つまり、ハーフトーン位相シフトマスクにおけるブランクスに
25 Γ 値の最適化を適用した場合には、総膜厚 d_{total} のばらつき幅が
広がるだけでなく、位相差分布および反射率比分布の小さな位

相シフトマスクを実現することもできると言える。

なお、ここでは、露光装置として、合計で 13 面の反射面を経るように構成されたものを例に挙げて説明したが、本発明はそれ以外の露光装置であっても適用可能である。第 23 図は、他の露光装置の概略構成の一例を示す図である。図例の露光装置 10 では、極短紫外光の光源 11 から出力された露光光が、ビームスプリッタ 12 で分離され、プリズムユニット 13 で適度な角度で絞られ、さらに、フライアイレンズ 14 を通ることにより、後述の変形照明、またはハーフトーン輪帯照明となる。そして、この光は、照明レンズ系 15 を介してレチクル 16 のマスクパターンで反射（または透過）され、結像レンズ系 17 で集光され、ウエハ 18 上に塗布されたレジストに斜入射照明される。変形照明、またはハーフトーン輪帯照明の形成は、ビームスプリッタ 12 およびプリズムユニット 13 を用いる代わりに、光源中心および光源中心付近にある程度以上の光量を透過させる形状のフィルタを用いてもよい。また、第 2 図 3 の光源に水銀ランプを使用すれば i 線ステッパの露光装置ともなる。本発明は、これに限らず、g 線ステッパ、KrF エキシマレーザステッパ、ArF エキシマレーザステッパなどの他のタイプの露光装置でもよい。

また、露光に用いるビームについては、極短紫外線のみならず、紫外光、電子線、X 線、放射線、荷電粒子線、光線などであっても、本発明は実施が適宜可能である。

例えば、電子線露光技術の一つとしては、低速電子線近接転写リソグラフィ（LEEL; low energy electron proximity projection lithography）がある。LEEL には、厚さ数 100nm のメンブレンにデバイスパターンに相当する孔が形成されたス

テンシルマスクが用いられる。そして、マスクとウエハとの間隔が数 $10\mu\text{m}$ 程度となるように、マスクをウエハ直上に設置する。さらに、数 10keV の電子線でマスクのパターン部分を走査することにより、パターンをウエハに転写する (T.Utsumi, Journal of Vacuum Science and Technology B17, 2897(1999))。これらによって、低加速電子銃から出射された電子線は、アパーチャを通過し、コンデンサレンズにより平行ビームとされ、偏向器を通過してマスクを介してウエハに照射されることになる。この場合においても、マスクとして本発明に記載したマスクを用いることにより、転写像におけるパターン幅やパターン間ピッチ等の極小微細化にも適切に対応することが可能となり、結果として半導体装置の性能向上に寄与することができる。

また、小区画メンブレンを梁構造 (グリッド構造) で支持する方法もあり、S C A L P E L (scattering with angular limitation in projection electron-beam lithography)、P R E V A I L (projection exposure with variable axis immersion lenses) および E B ステッパーのマスクに用いられている (例えば、L.R.Harriott, Journal of Vacuum Science and Technology B15, 2130(1997); H.C.Pfeiffer, Japanese Journal of Applied Physics 34, 6658(1995))。S C A L P E L では、低加速電子銃から出射された電子線はアパーチャを通過し、コンデンサレンズにより平行ビームとされ、偏向器を通過してマスクを介してウエハに照射される。P R E V A I L では、コンデンサレンズ、レチクル、第 1 投影レンズ、クロスオーバーアパーチャ、第 2 投影レンズ、試料、試料下レンズを電子光源側から順に配備してレチクルパターンを試料に縮小転写する。これらの場合においても、マス

クとして本発明に記載したマスクを用いることにより、転写像におけるパターン幅やパターン間ピッチ等の極小微細化にも適切に対応することが可能となり、結果として半導体装置の性能向上に寄与することができる。

- 5 さらには、露光に用いるビームについて、極短紫外線のみならず、紫外光、電子線、X線、放射線、荷電粒子線、光線などを使用した場合であっても、本発明を適用することにより、ウエハ上への露光後の線幅ばらつき、パターン位置ずれが最小となるようにすることができる。そのため、転写像におけるパターン幅やパ
10 ターン間ピッチ等の極小微細化にも適切に対応することが可能となり、結果として半導体装置の性能向上に寄与することができる。

産業上の利用の可能性

- 15 以上に説明したように、本発明に係る極短紫外光の反射体およびその製造方法、位相シフトマスク、露光装置、並びに半導体装置の製造方法によれば、複数の反射面を経た場合の反射率の波長依存性を極短紫外光の露光中心波長に一致させることができるので、被露光体上への露光を行う際の到達エネルギーを十分に確保
20 することができる。また、最適 Γ 値を選択すれば、反射体の膜厚ばらつきの許容幅を大きくできるので、反射体の生産性等を損なうことなく、露光体上への到達エネルギーを十分に確保できるようになる。

請求の範囲

1. 複数の層が同一順で繰り返し積層されてなる多層膜構造を有するとともに、

- 5 所定数の反射体を経た場合の反射率の半値幅中心と反射すべき露光光の中心波長とが一致するように前記多層膜構造における繰り返し積層単位の周期長が設定されており、

半導体装置を製造するためのリソグラフィ工程で露光光による被露光体上への露光を行う際に用いられることを特徴とする
10 露光光の反射体。

2. 前記多層膜構造における繰り返し積層単位の周期長に加えて、前記繰り返し積層単位を構成する複数の層の膜厚比についても、所定数の反射体を経た場合の反射率の半値幅中心と反射すべき露光光の中心波長とが一致するように設定されていることを
15 特徴とする請求の範囲第1項に記載の反射体。

3. 前記露光光は極短紫外光、紫外光、電子線、X線、荷電粒子線、放射線、又は、可視光であることを特徴とする請求の範囲第1項に記載の反射体。

4. 前記複数の層が同一順で繰り返し積層されてなる多層膜構造はM_oとS_iを同一順で繰り返し積層されてなる多層膜構造
20 を有したものであることを特徴とする請求の範囲第1項に記載の反射体。

5. S_iO₂（二酸化ケイ素）からなるガラス上に、当該ガラス上から反射面側に向かって、前記多層膜構造が設置されている
25 ことを特徴とする請求の範囲第4項に記載の反射体。

6. 多層膜構造における繰り返し積層単位の周期長と、繰り返し

し積層単位を構成する複数の層の膜厚比とを、所定数の反射体を経た場合の反射率の半値幅中心と反射すべき露光光の中心波長とが一致するように設定して、前記複数の層が同一順で繰り返し積層されてなる前記多層膜構造を構成する

5 ことを特徴とする露光光の反射体の製造方法。

7. 前記露光光は極短紫外光、紫外光、電子線、X線、荷電粒子線、放射線、又は、可視光であることを特徴とする請求の範囲第6項に記載の反射体の製造方法。

8. 前記複数の層が同一順で繰り返し積層されてなる多層膜構造はMoとSiを同一順で繰り返し積層されてなる多層膜構造を有したものであることを特徴とする請求の範囲第6項に記載の反射体の製造方法。

9. SiO₂（二酸化ケイ素）からなるガラス上に、当該ガラス上から反射面側に向かって、前記多層膜構造が設置されていることを特徴とする請求の範囲第8項に記載の反射体の製造方法。

10. 複数の層が同一順で繰り返し積層されてなる多層膜構造を有する反射体部と、前記反射体部上を所定パターンで覆う吸収膜部とを備え、

前記反射体部からの露光光の反射光と前記吸収膜部からの露光光の反射光との間で位相差が生じるように構成されているとともに、

前記反射体部は、前記多層膜構造における繰り返し積層単位の周期長と、前記繰り返し積層単位を構成する複数の層の膜厚比とが、所定数の反射体を経た場合の反射率の半値幅中心と反射すべき露光光の中心波長とが一致するように設定されたものである

ことを特徴とする半導体装置を製造するためのリソグラフィ

工程で露光光による被露光体上への露光を行う際に用いられるマスク。

1 1 . 前記マスクは位相シフトマスクであることを特徴とする請求の範囲第 1 0 項に記載のマスク。

5 1 2 . 前記露光光は極短紫外光、紫外光、電子線、X線、荷電粒子線、放射線、又は、可視光であることを特徴とする請求の範囲第 1 0 項に記載のマスク。

1 3 . 前記複数の層が同一順で繰り返し積層されてなる多層膜構造はM o と S i を同一順で繰り返し積層されてなる多層膜構造を有したものであることを特徴とする請求の範囲第 1 0 項に記載のマスク。

1 4 . S i O₂ (二酸化ケイ素) からなるガラス上に、当該ガラス上から反射面側に向かって、前記多層膜構造が設置されていることを特徴とする請求の範囲第 1 2 項に記載のマスク。

1 5 1 5 . 前記バッファ層膜はR u (ルテニウム)であることを特徴とする請求の範囲第 1 0 項に記載のマスク。

1 6 . 前記反射体の光反射面側はT a N (窒化タンタル)で覆われていることを特徴とする請求の範囲第 1 5 項に記載のマスク。

2 0 1 7 . 複数の層が同一順で繰り返し積層されてなる多層膜構造を有した露光光の反射体を所定数具備するとともに、

前記露光光の反射体は、前記多層膜構造における繰り返し積層単位の周期長と、前記繰り返し積層単位を構成する複数の層の膜厚比とが、前記所定数の反射体を経た場合の反射率の半値幅中心と反射すべき露光光の中心波長とが一致するように設定されたものである

ことを特徴とする半導体装置を製造するためのリソグラフィ工程で露光光による被露光体上への露光を行う際に用いられる露光装置。

1 8 . 前記露光光は極短紫外光、紫外光、電子線、X線、荷電
5 粒子線、放射線、又は、可視光であることを特徴とする請求の範囲第17項に記載の露光装置。

1 9 . 複数の層が同一順で繰り返し積層されてなる多層膜構造を有する反射体部と、前記反射体部上を所定パターンで覆う吸収膜部とを備え、

10 前記反射体部からの露光光の反射光と前記吸収膜部からの露光光の反射光との間で位相差が生じるように構成されているとともに、

前記反射体部は、前記多層膜構造における繰り返し積層単位の周期長と、前記繰り返し積層単位を構成する複数の層の膜厚比と
15 が、所定数の反射体を経た場合の反射率の半値幅中心と反射すべき露光光の中心波長とが一致するように設定されたものであるマスクを用いて、

半導体装置を製造するためのリソグラフィ工程で露光光による被露光体上への露光を行う

20 ことを特徴とする半導体装置の製造方法。

2 0 . 前記露光光は極短紫外光、紫外光、電子線、X線、荷電粒子線、放射線、又は、可視光であることを特徴とする請求の範囲第19項に記載の製造方法。

1/22

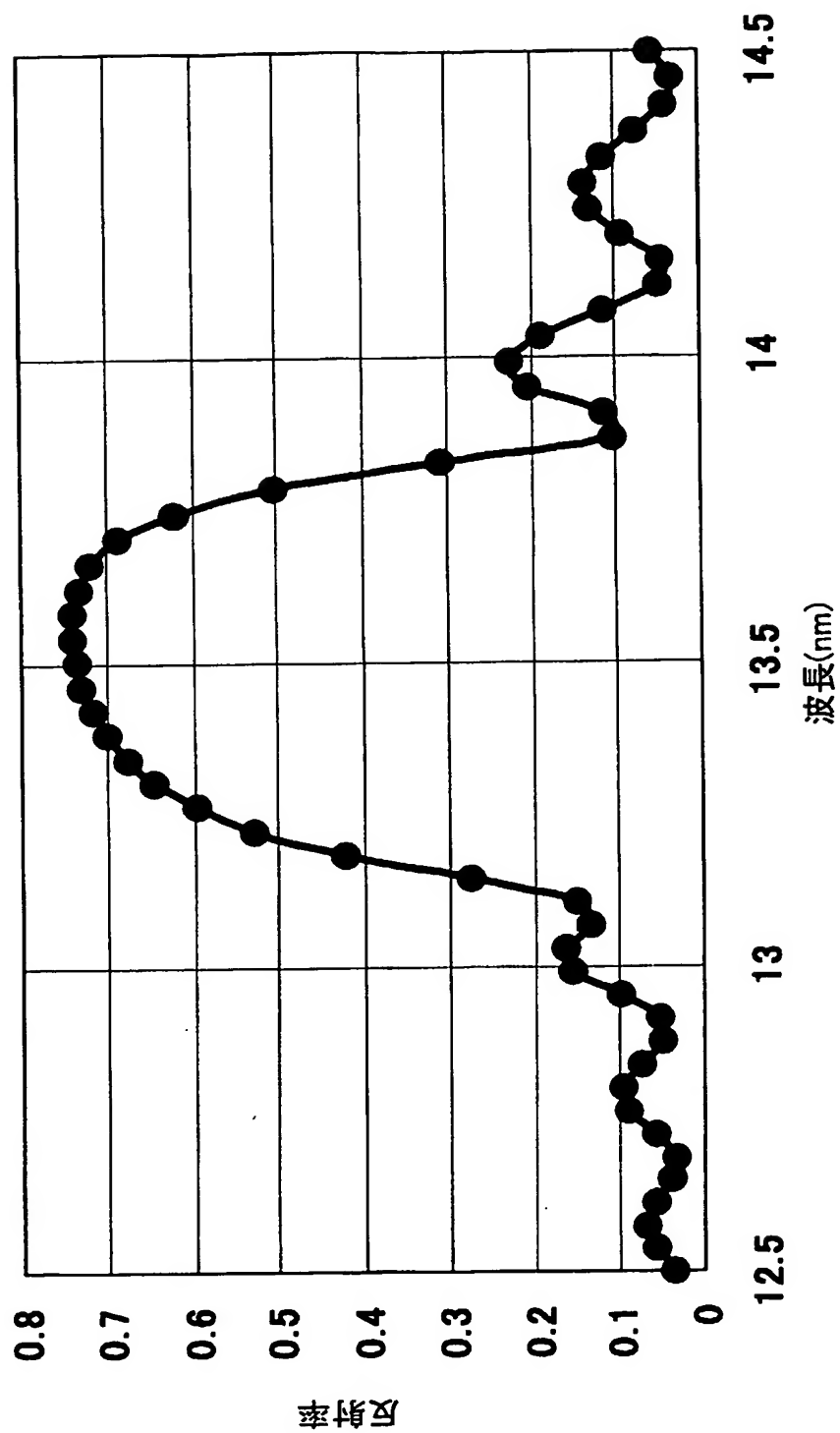


Fig.1

2/22

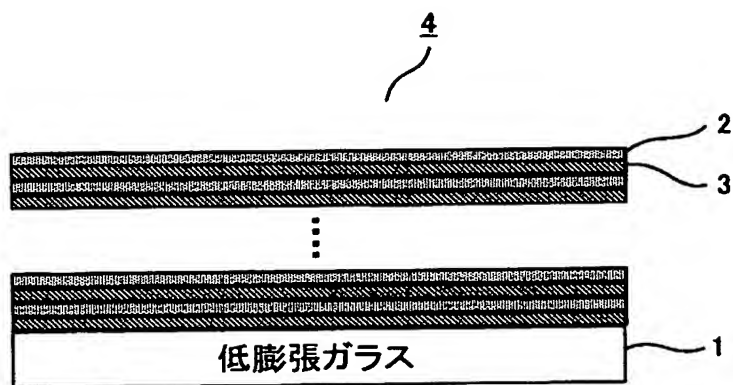


Fig.2

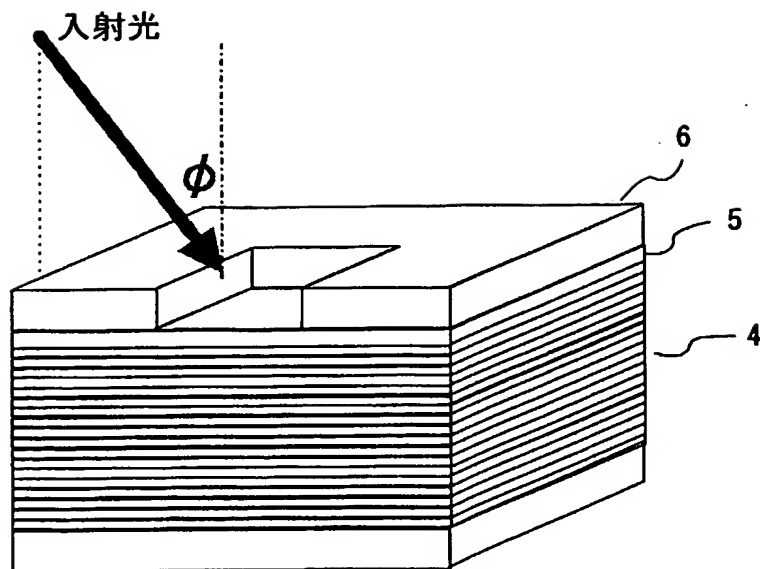


Fig.3

3/22

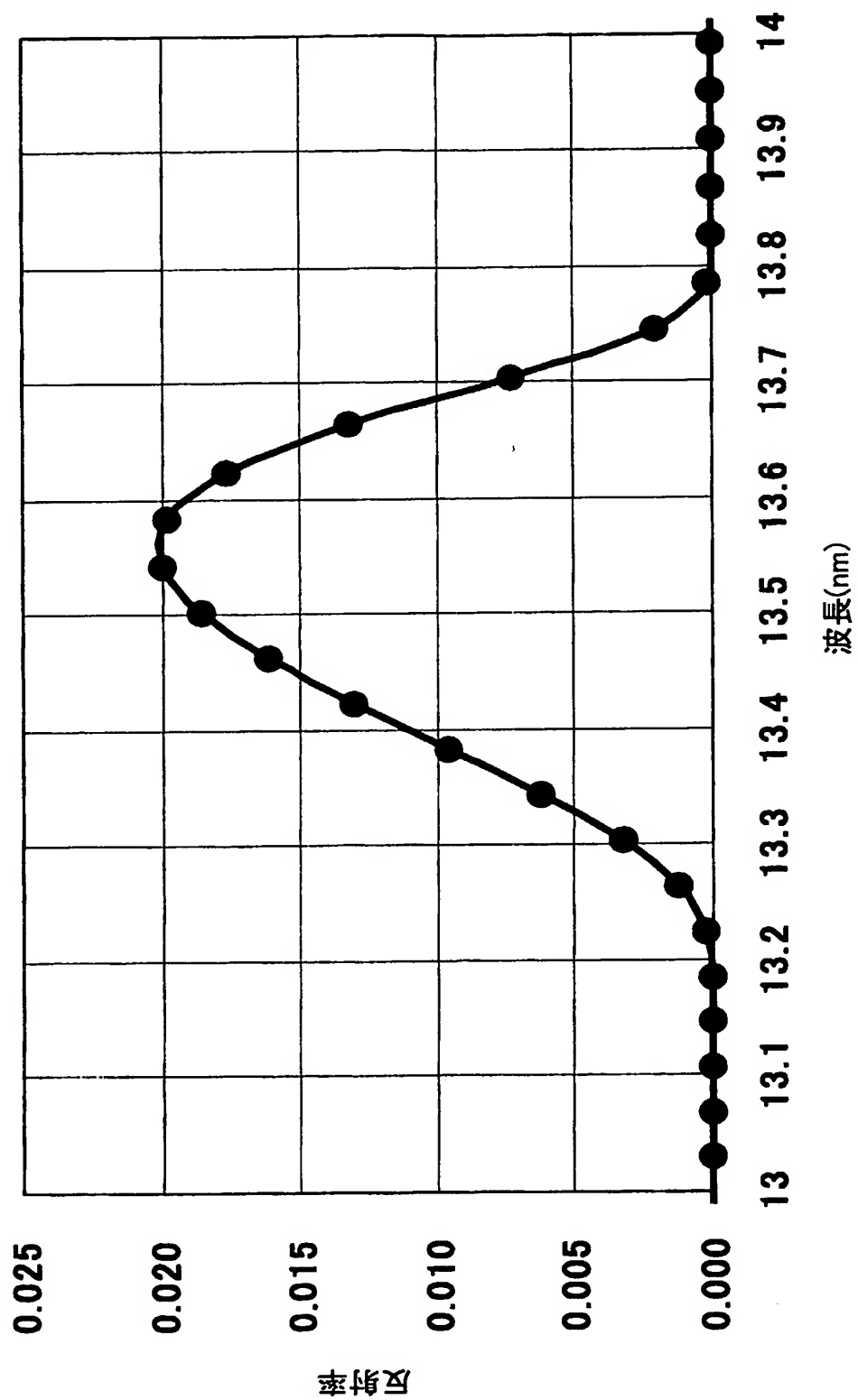


Fig.4

4/22

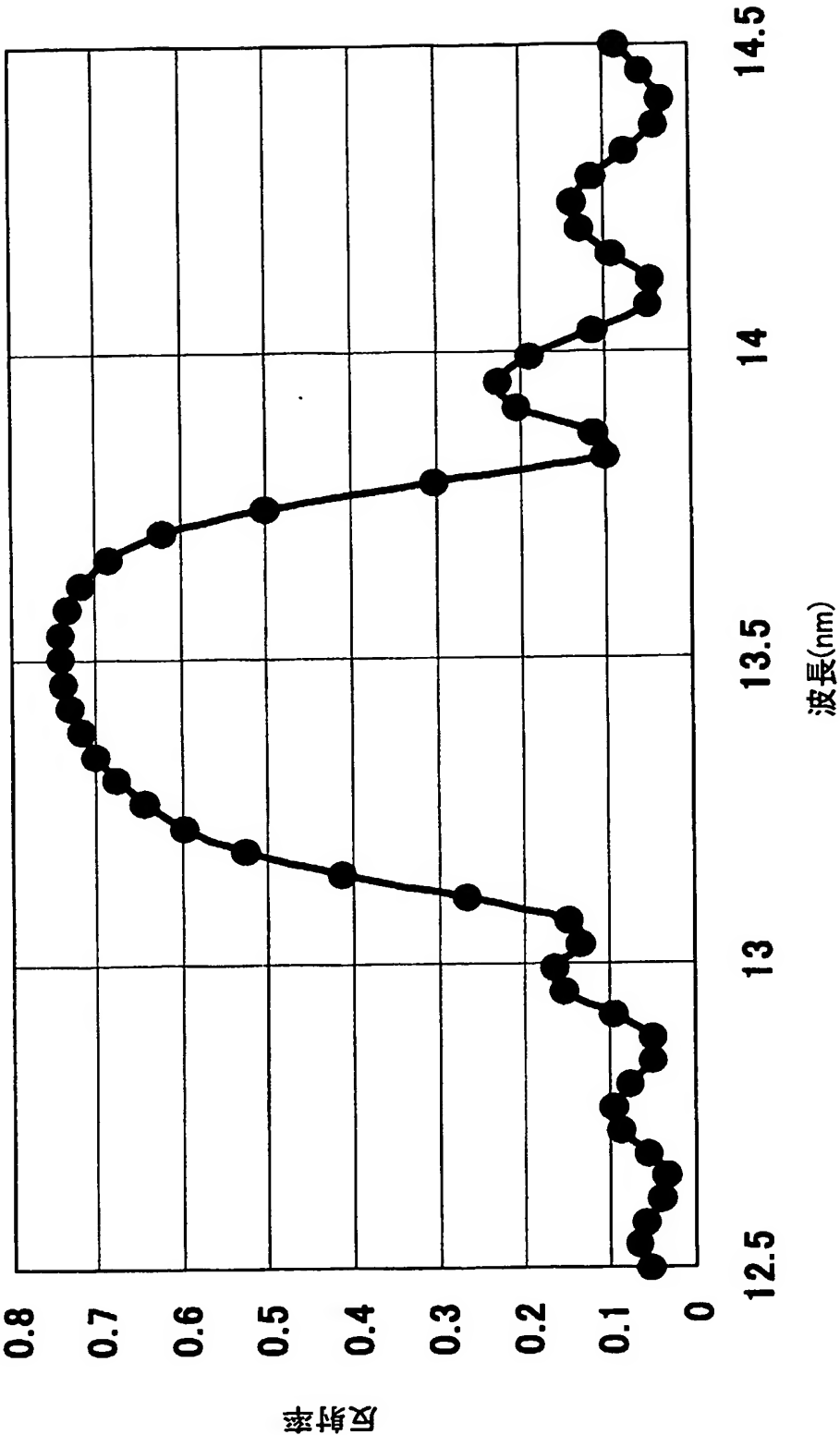


Fig.5

5/22

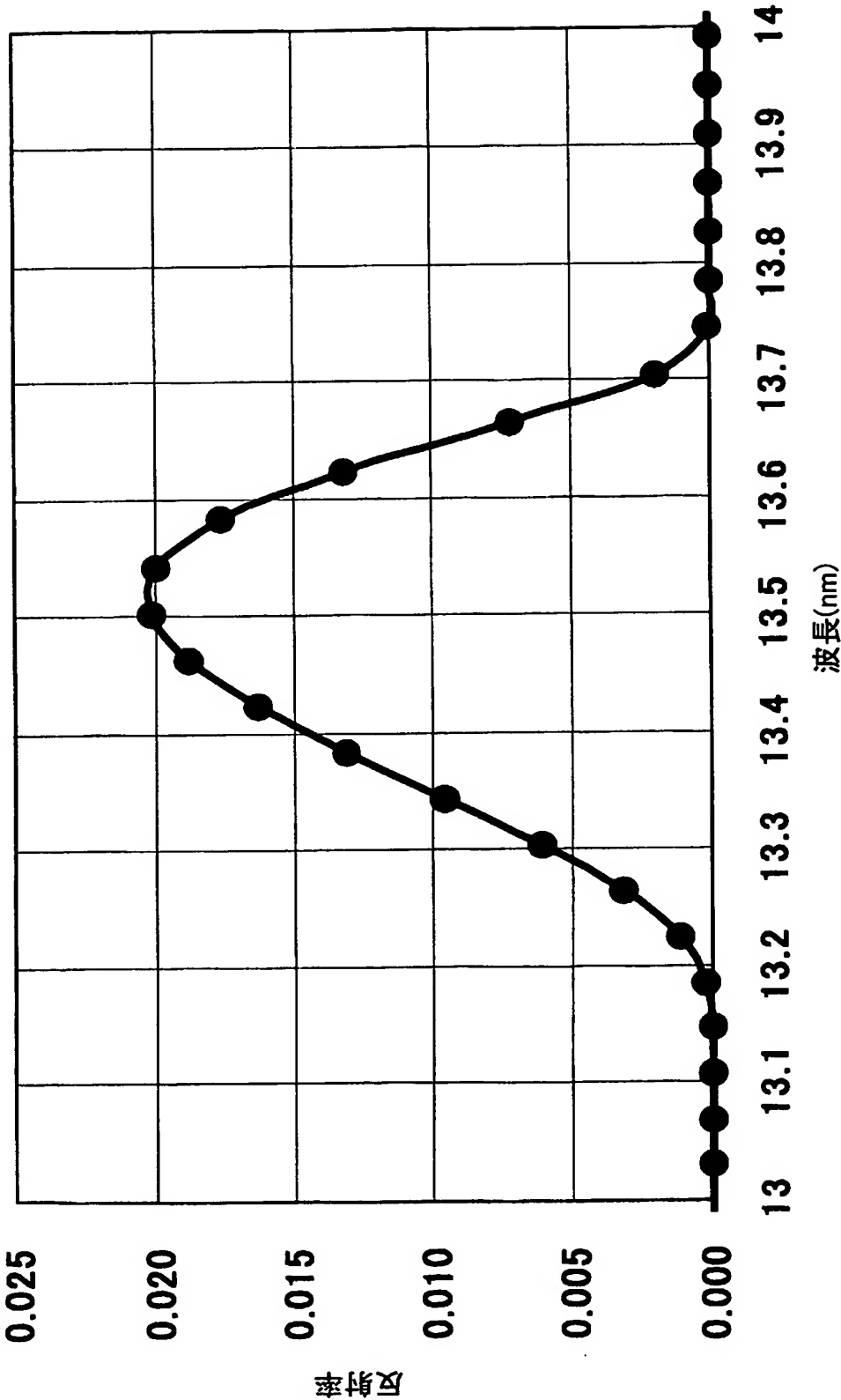


Fig.6

6/22

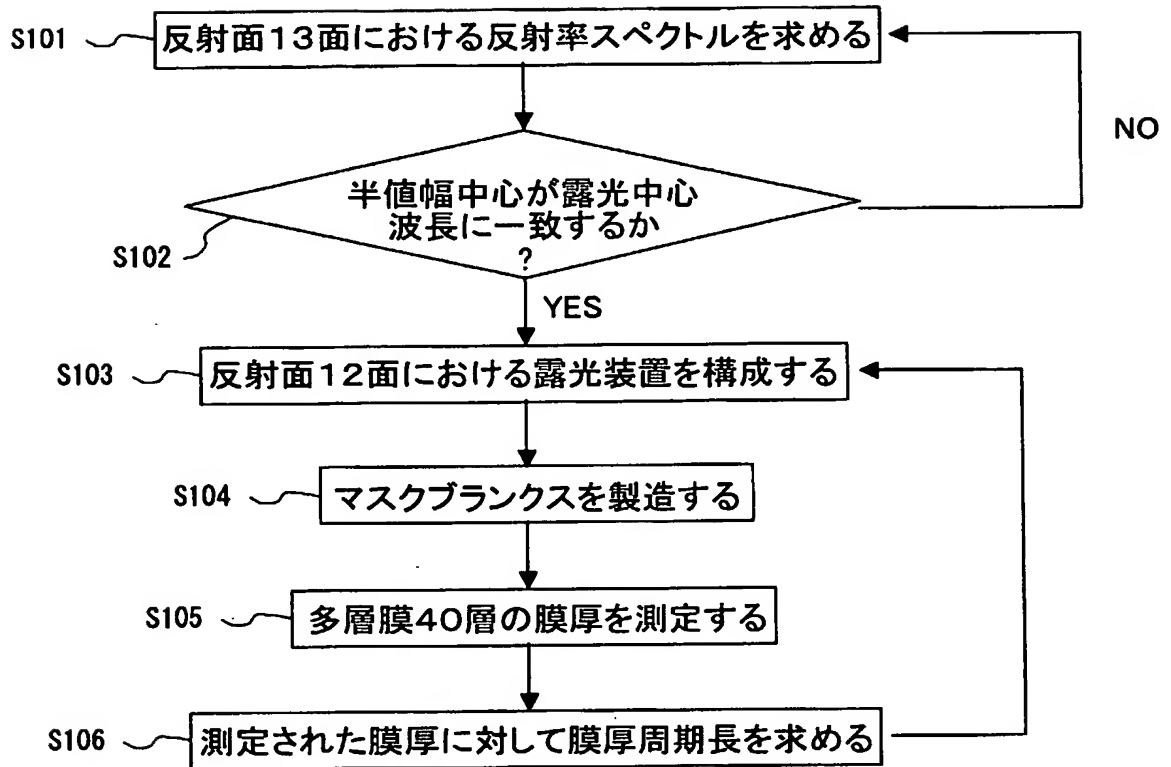


Fig.7

7/22

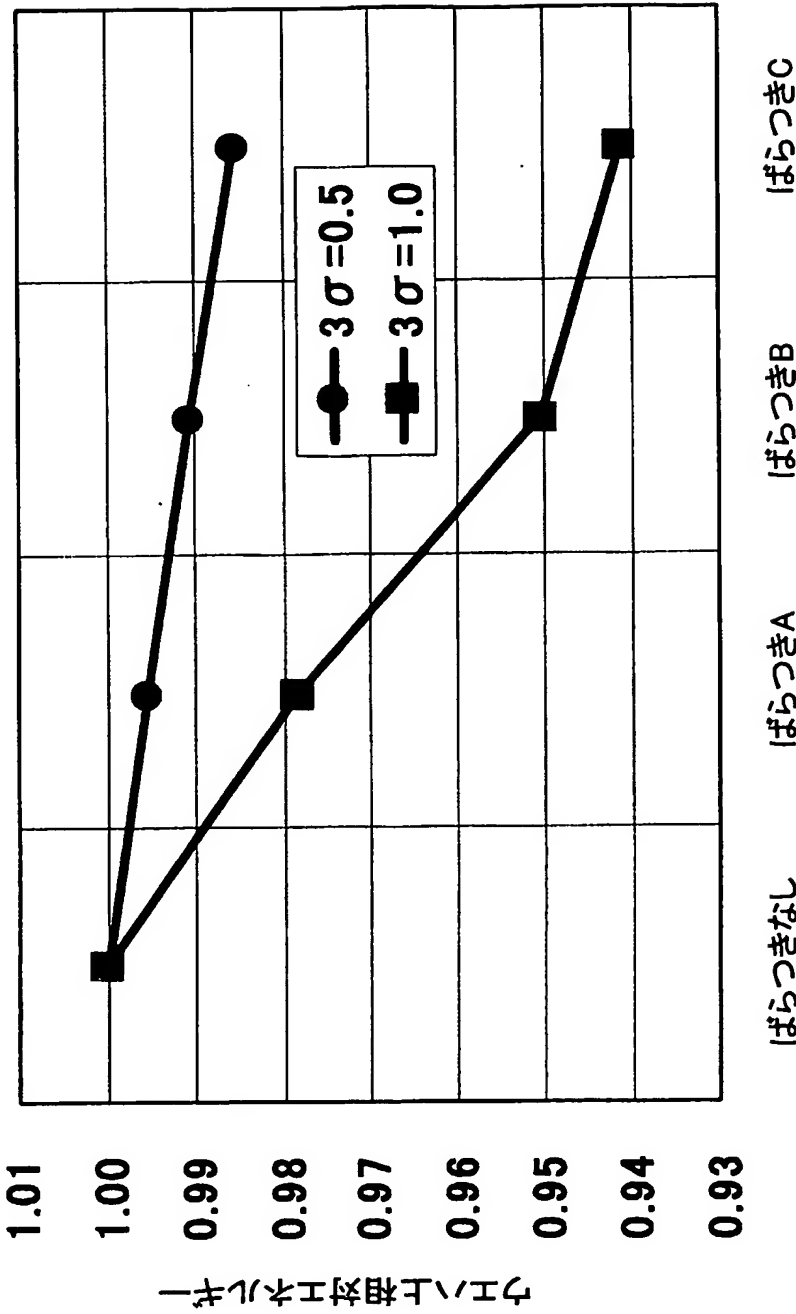


Fig.8

8/22

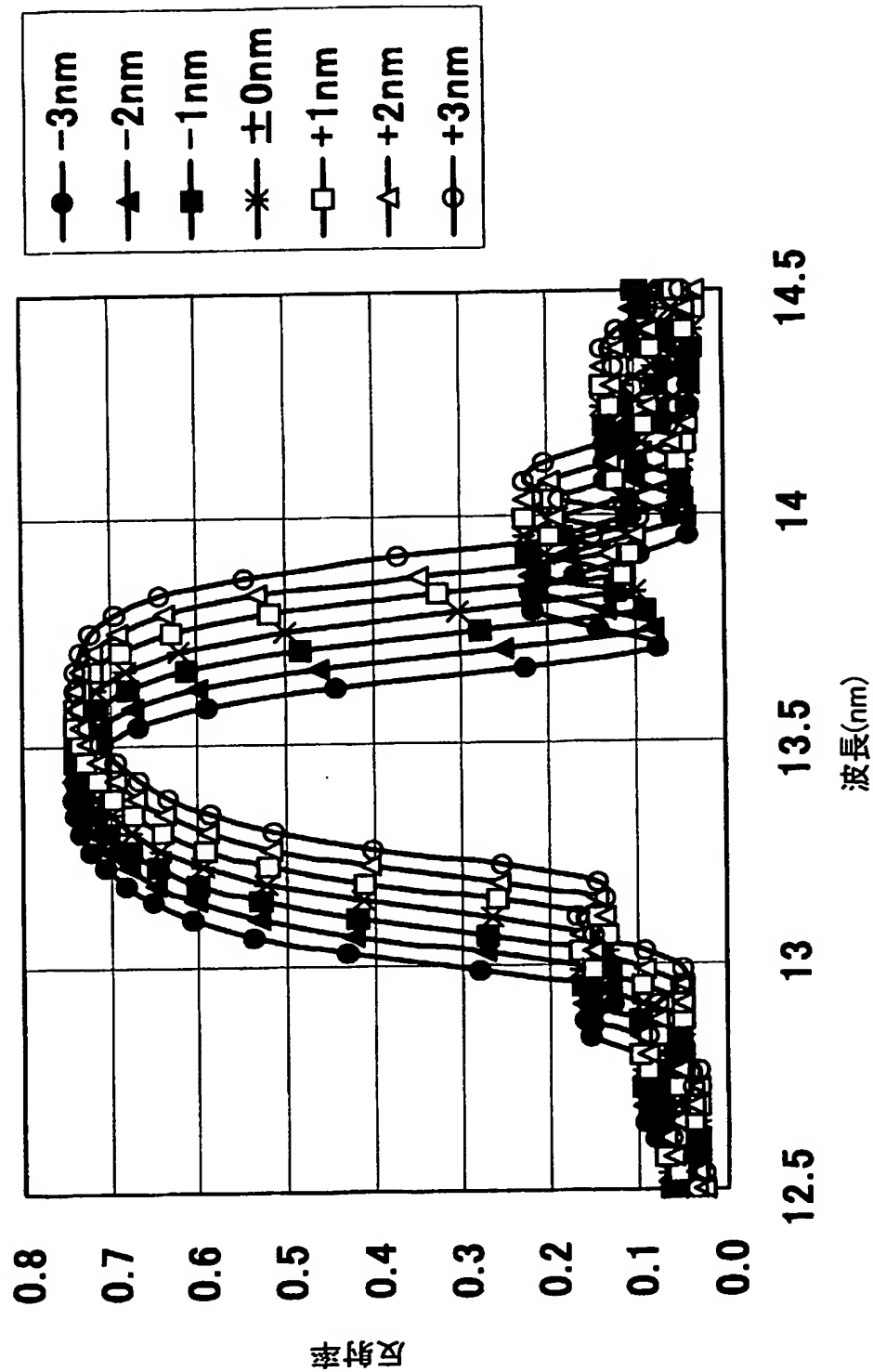


Fig.9

9/22

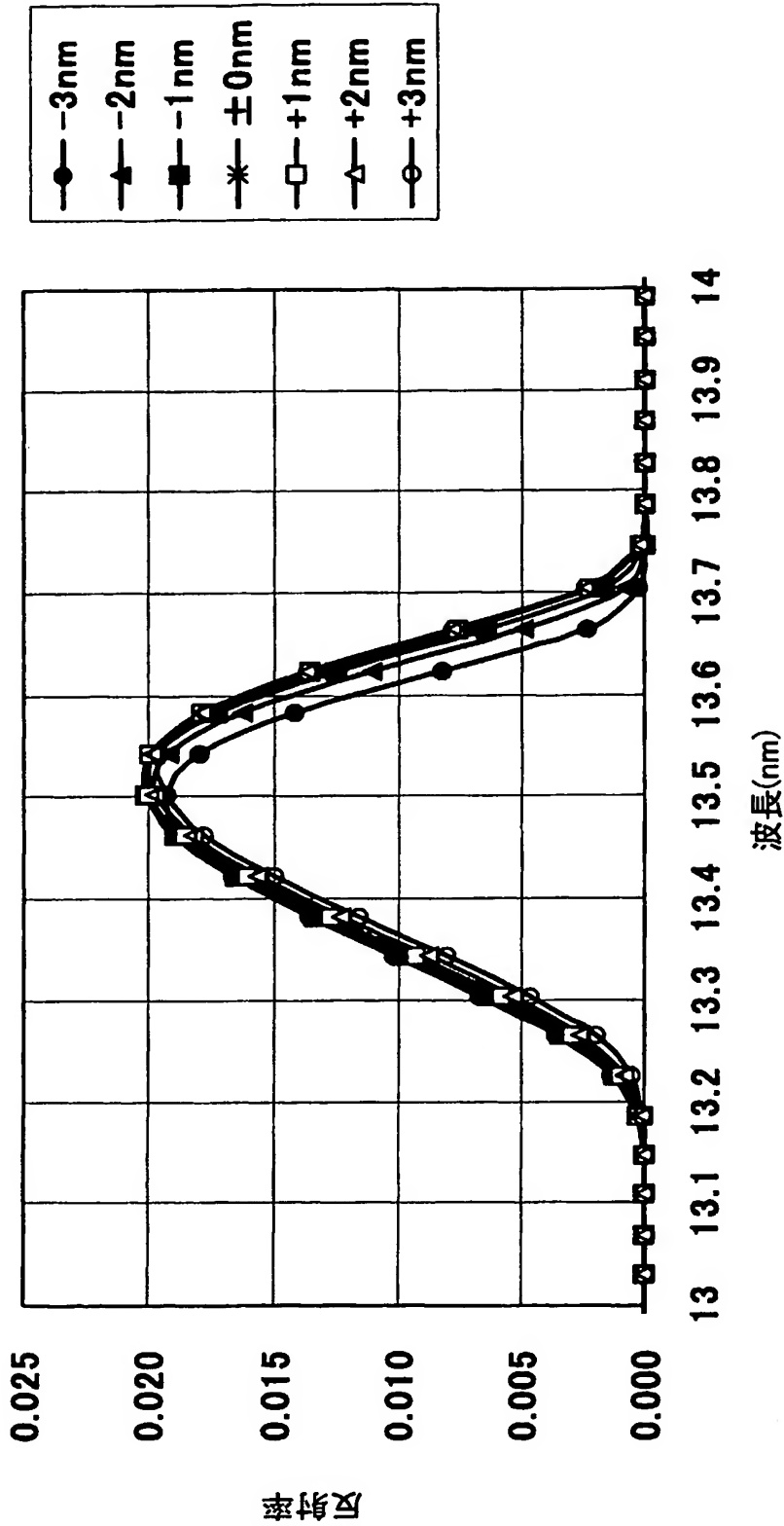


Fig.10

10/22

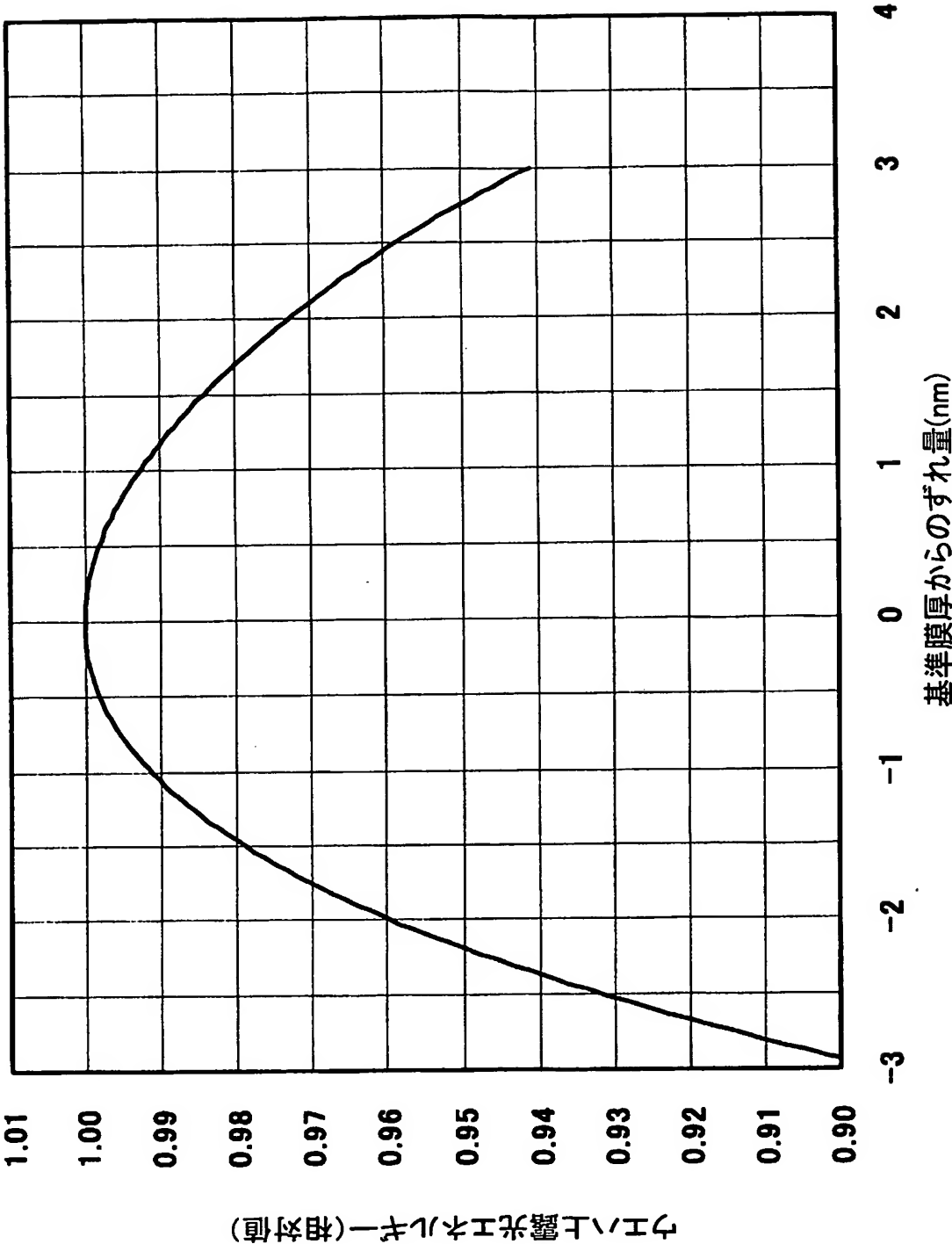


Fig.11

11/22

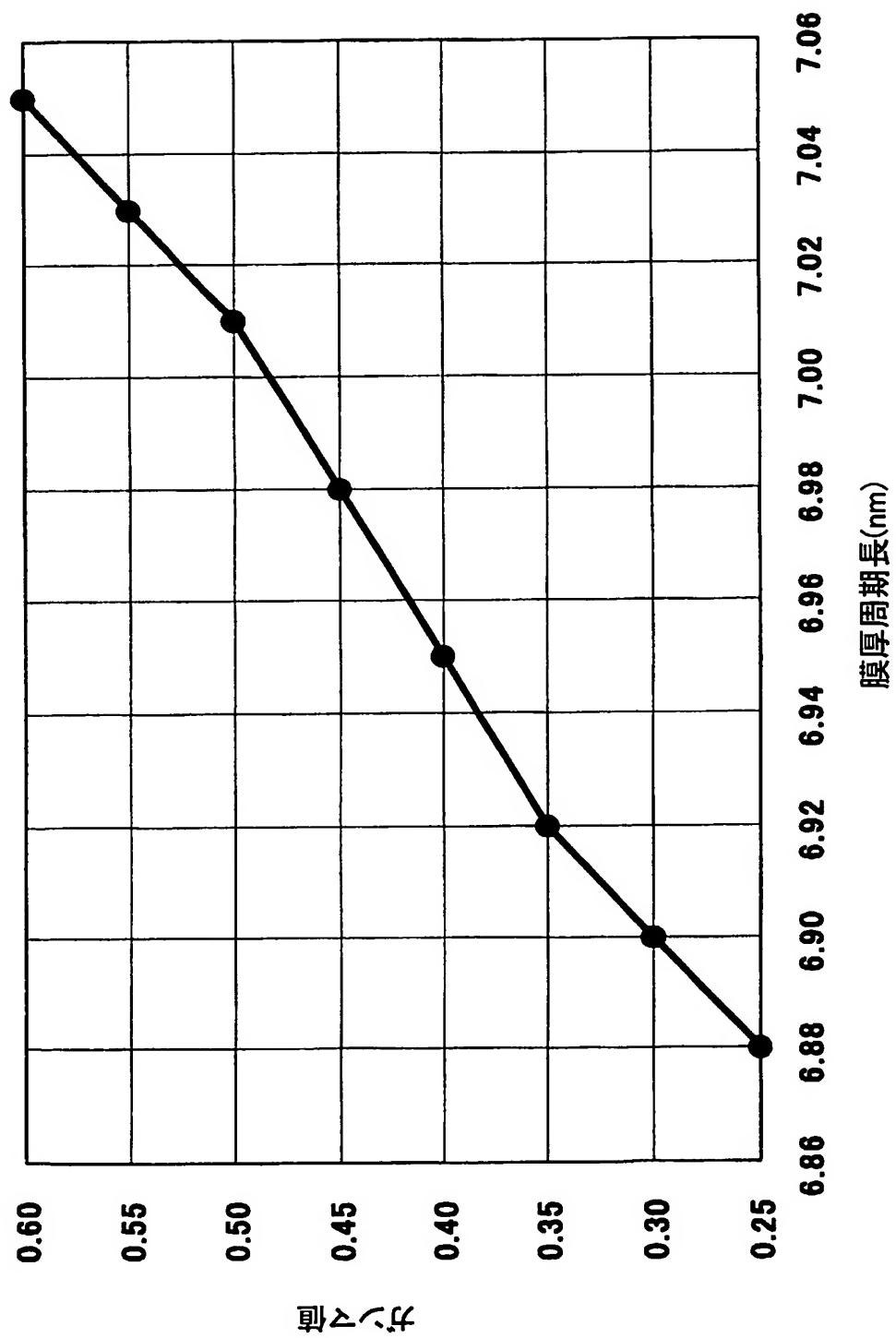


Fig.12

12/22

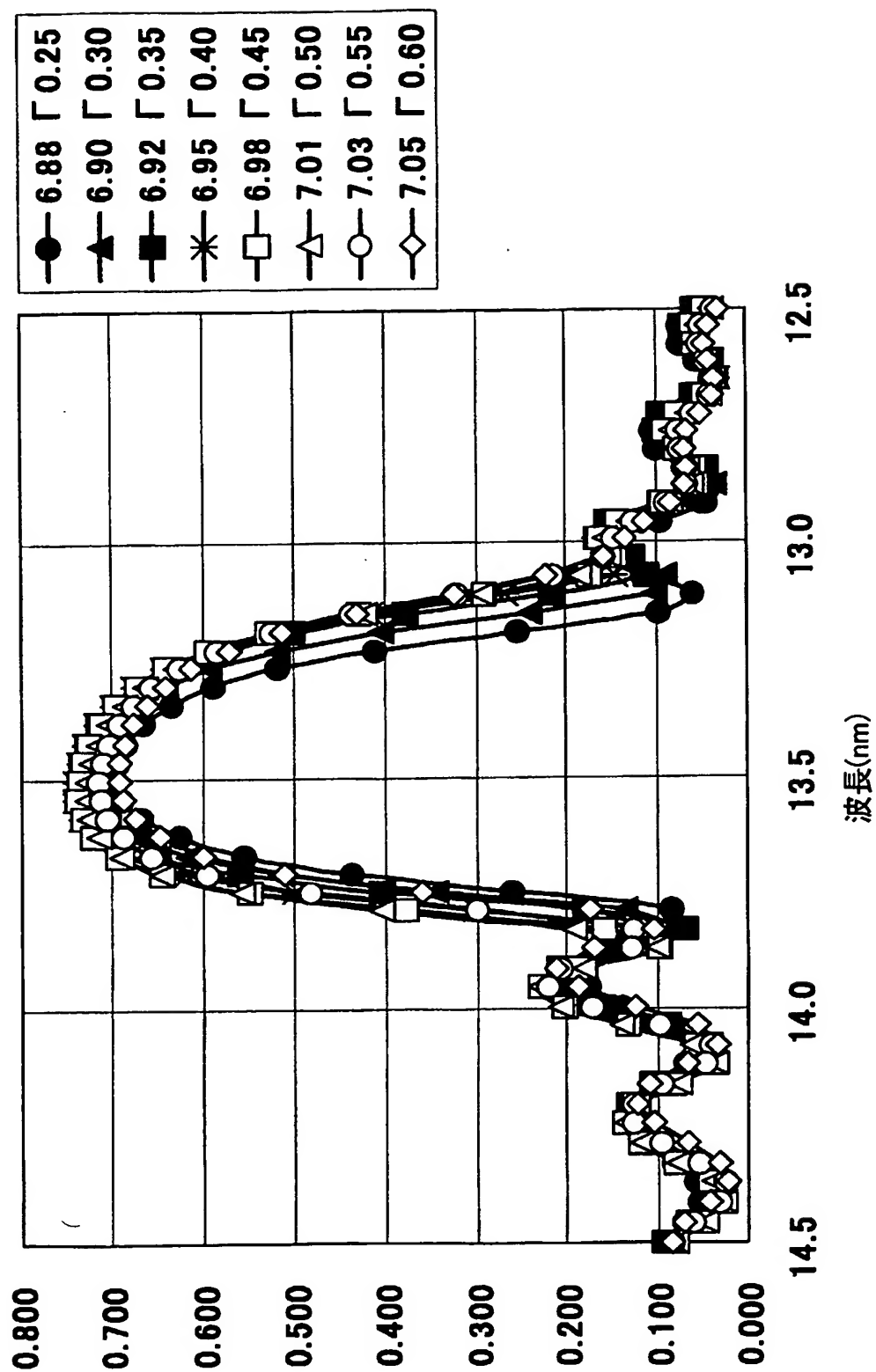
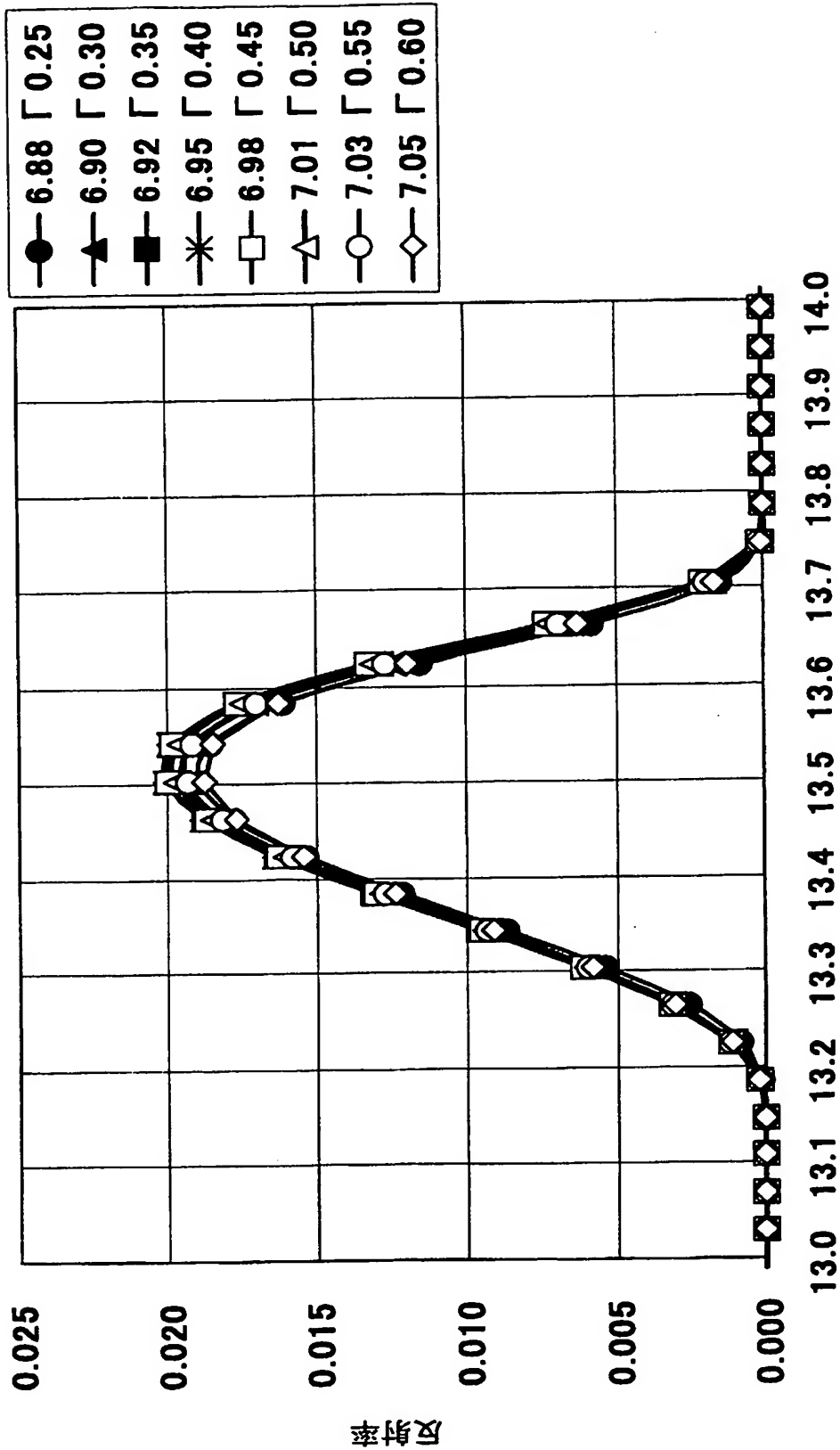


Fig.13



波長(nm)

Fig.14

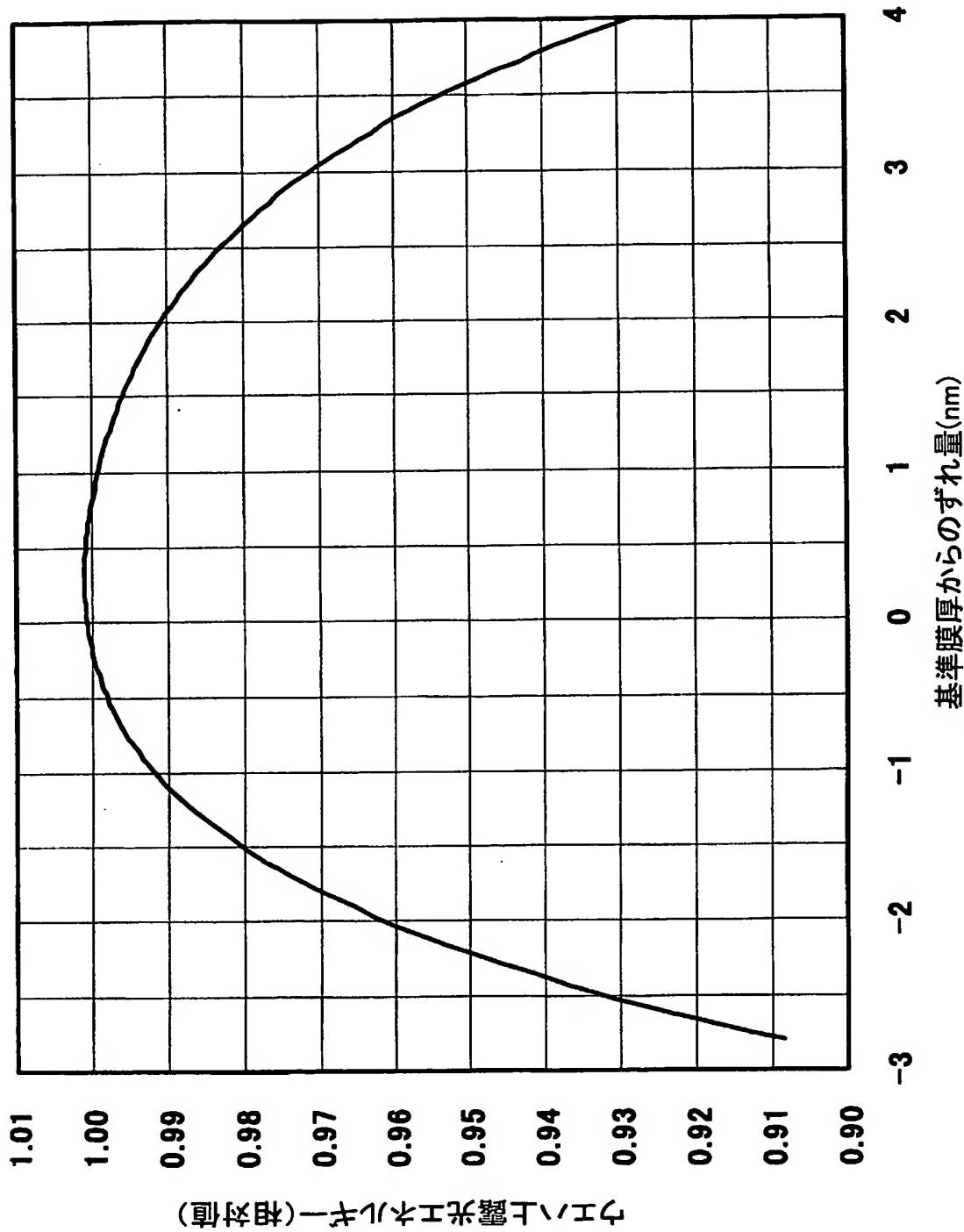


Fig.15

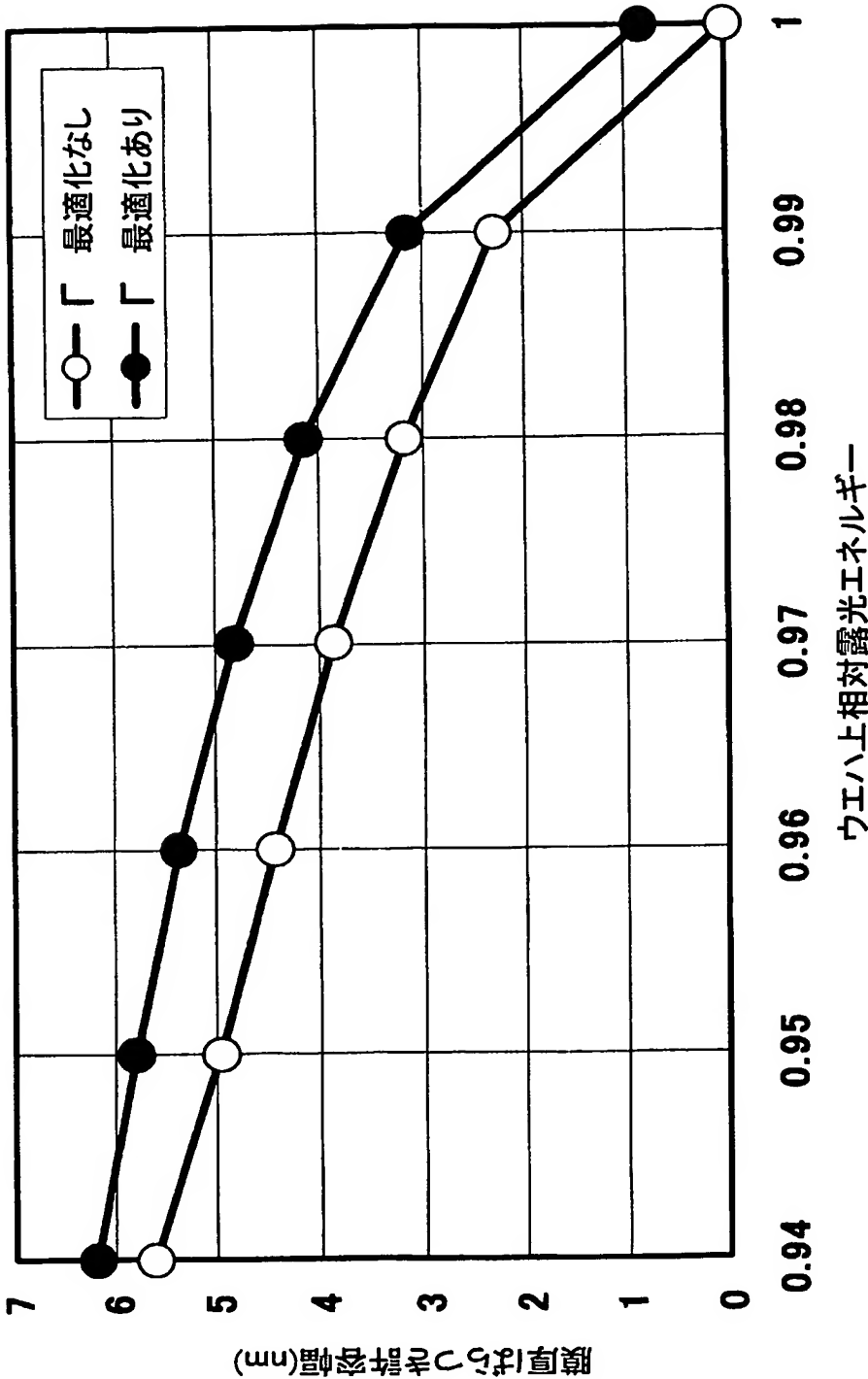


Fig.16

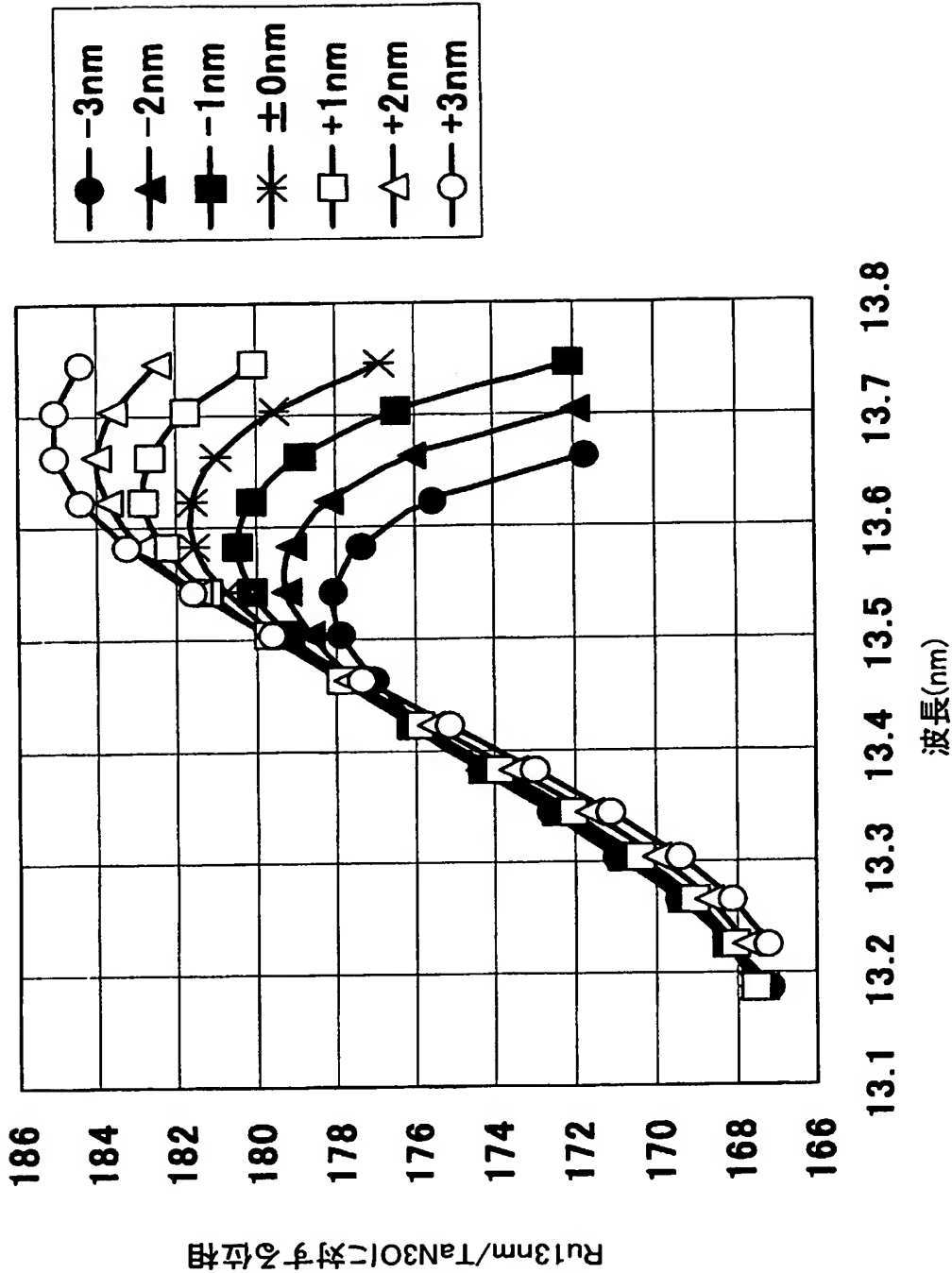


Fig.17

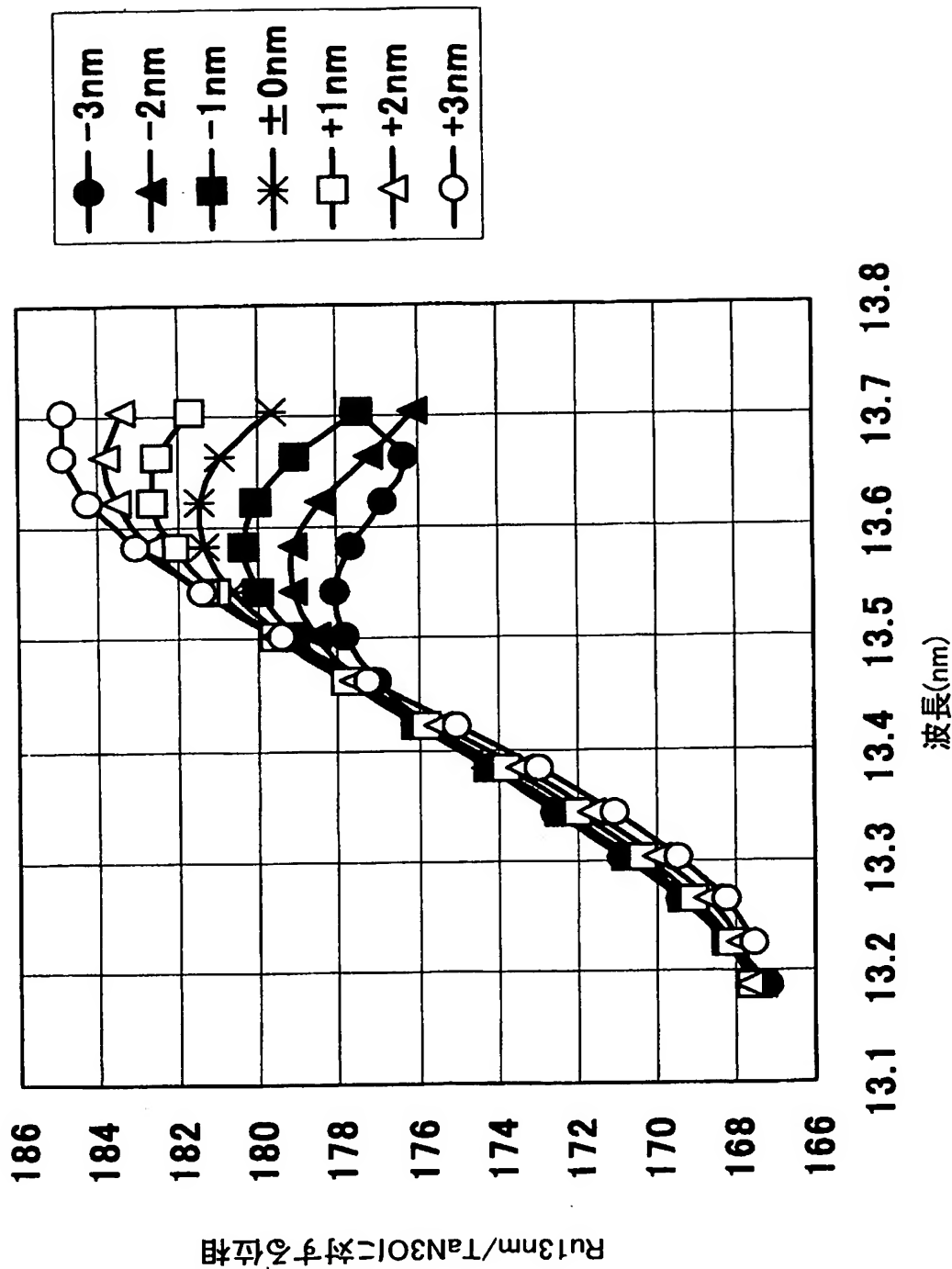


Fig.18

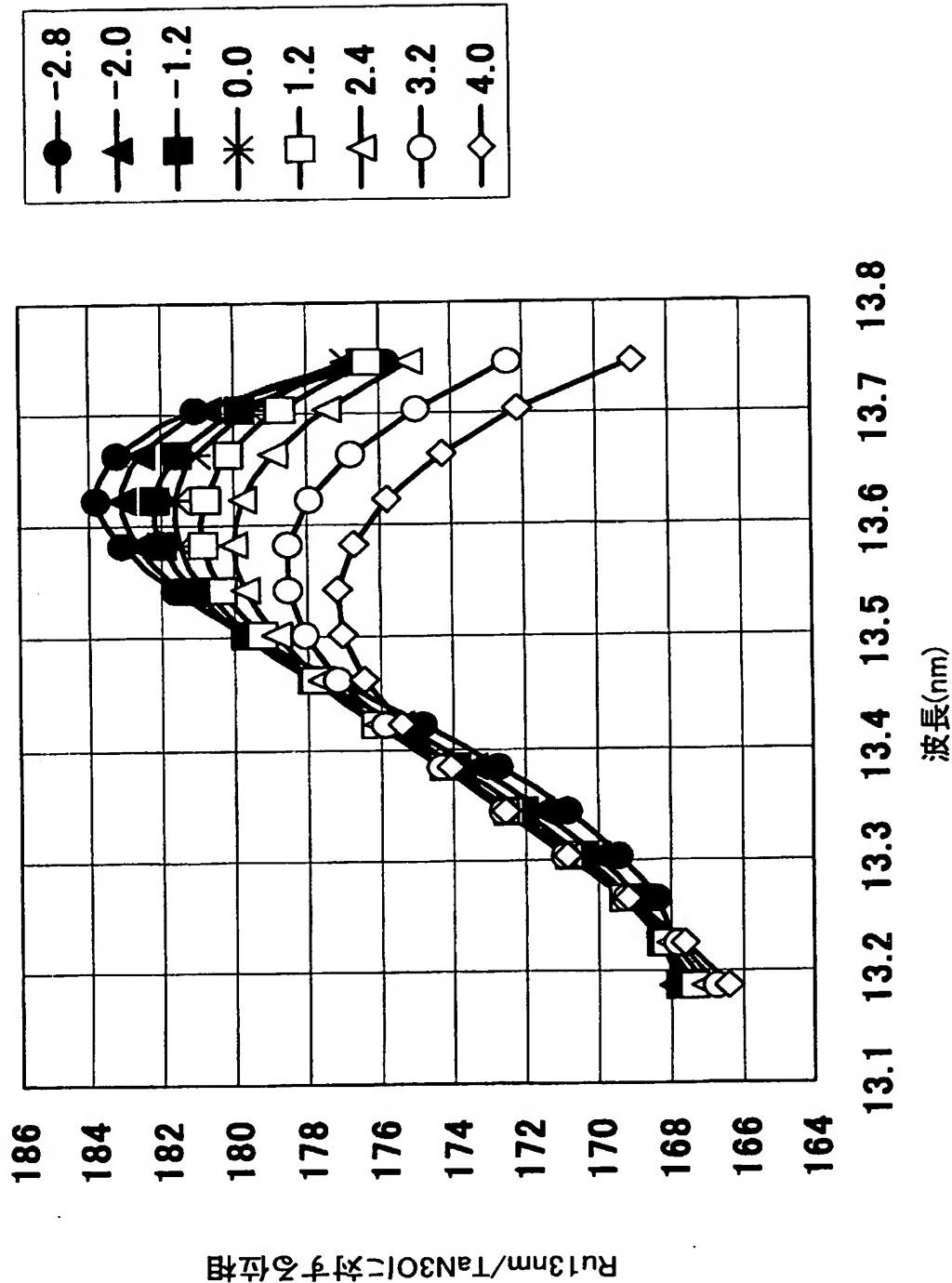


Fig.19

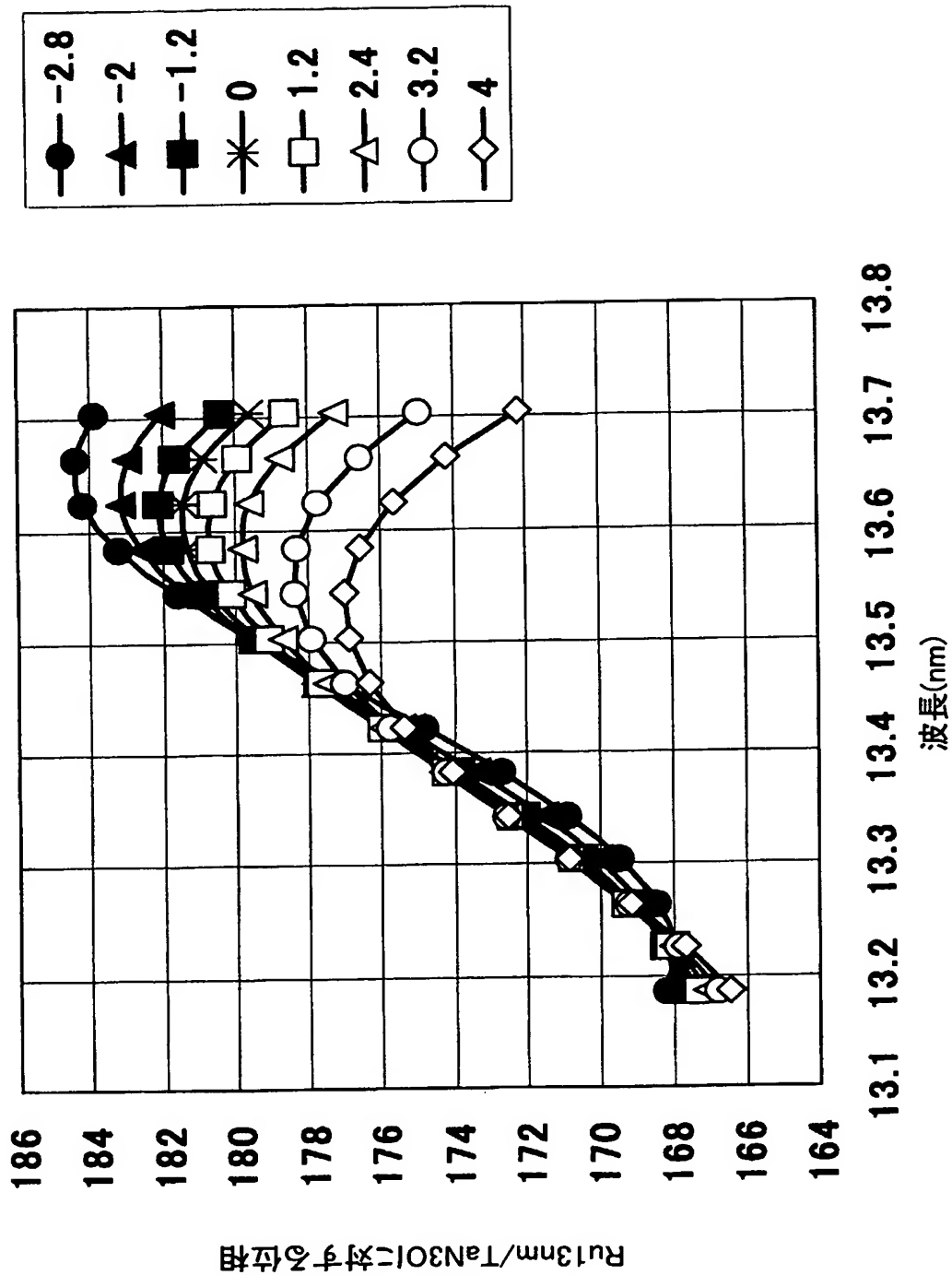


Fig.20

20/22

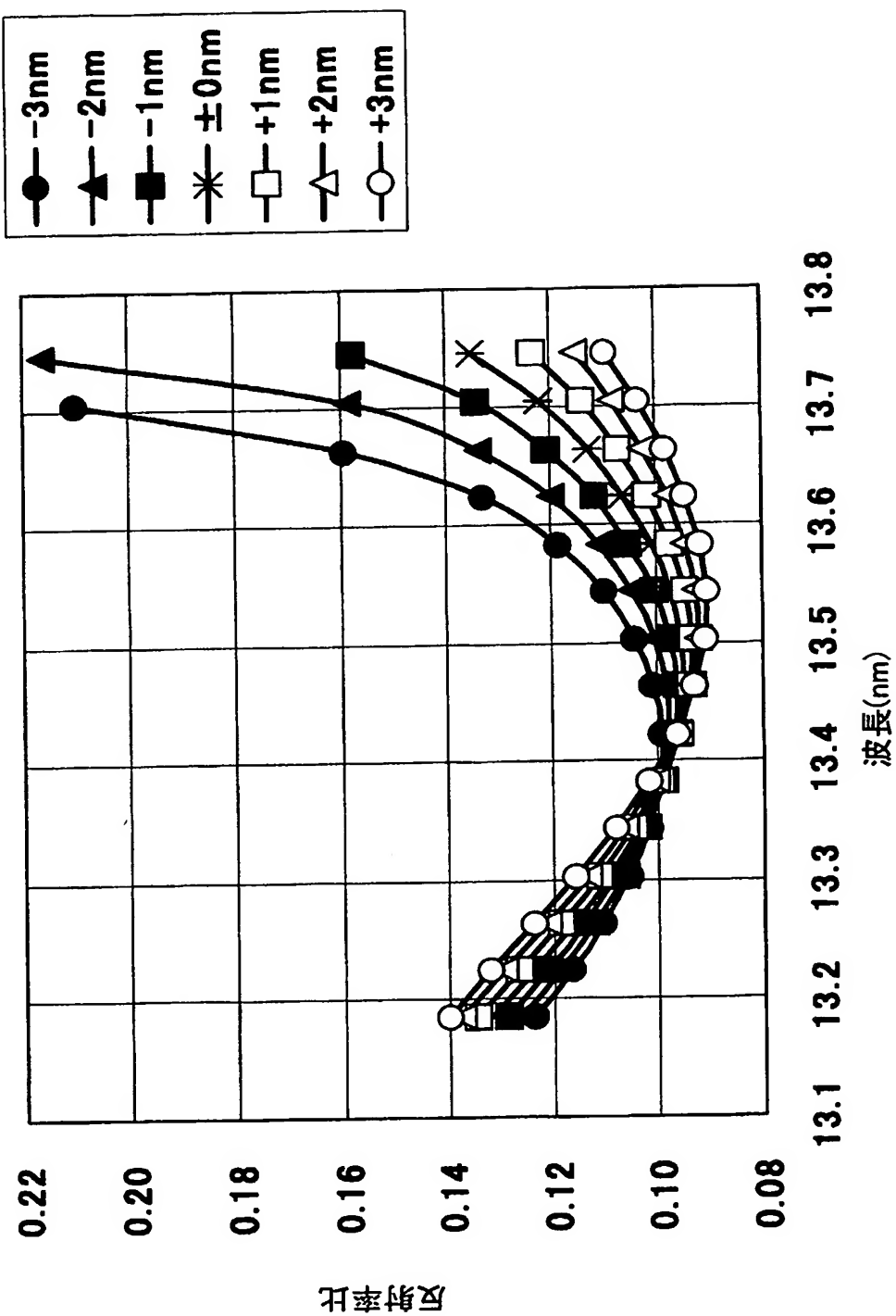


Fig.21

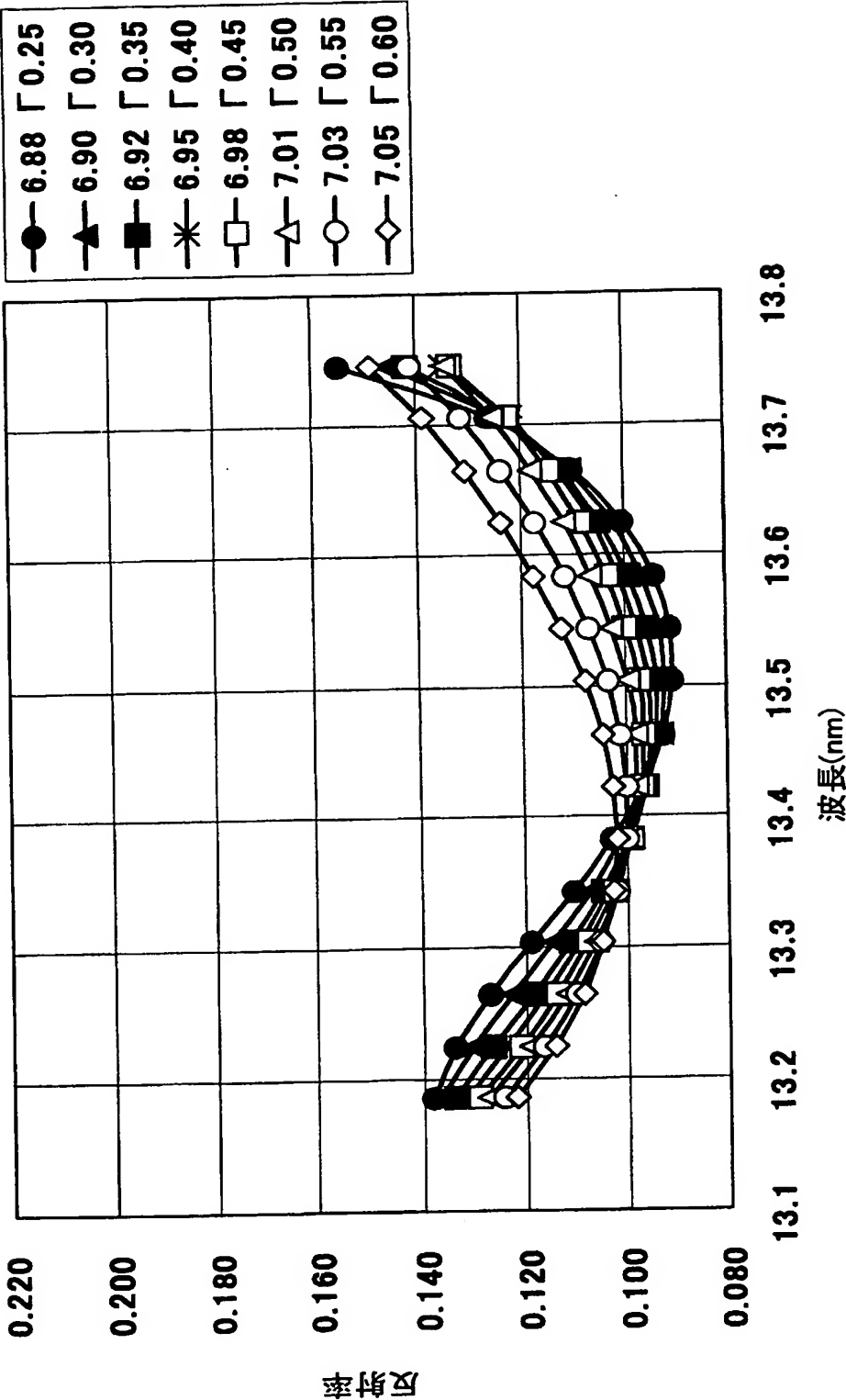


Fig.22

22/22

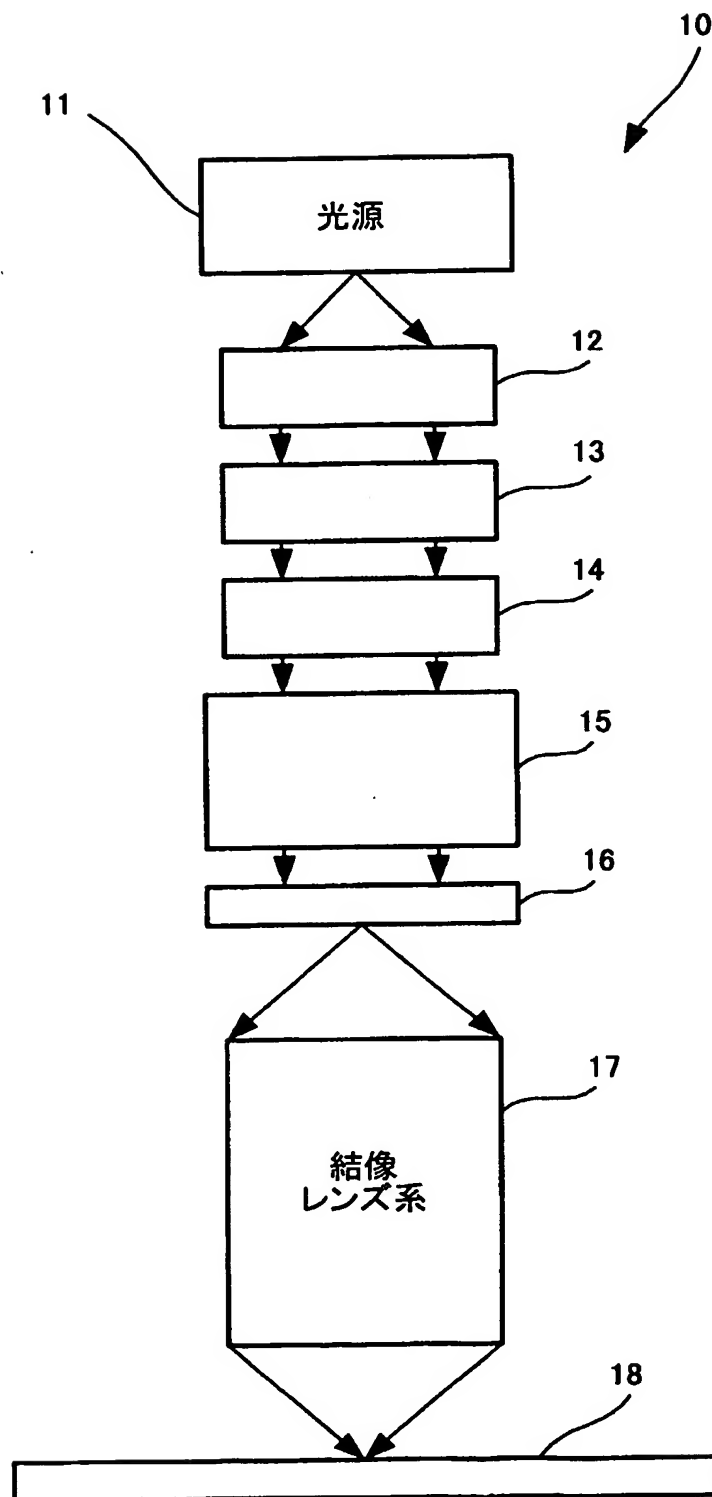


Fig.23

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP03/05000

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int.Cl⁷ G02B5/26, G02B5/28, G02B5/08, G03F1/16, G03F7/20,
H01L21/027, G21K1/06

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Int.Cl⁷ G02B5/26, G02B5/28, G02B5/08, G03F1/16, G03F7/20,
H01L21/027, G21K1/06

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1926-1996	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2003
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2003	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2003

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 6333961 B1 (Nikon Corp.), 25 December, 2001 (25.12.01), Full text; all drawings & JP 2001-57328 A	1-20
A	JP 2001-237174 A (Oki Electric Industry Co., Ltd.), 31 August, 2001 (31.08.01), Full text; all drawings (Family: none)	1-20
A	JP 2001-27699 A (Nikon Corp.), 30 January, 2001 (30.01.01), Full text; all drawings (Family: none)	1-20

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:	"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"E" earlier document but published on or after the international filing date	"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)	"&" document member of the same patent family
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means	
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed	

Date of the actual completion of the international search
16 July, 2003 (16.07.03)

Date of mailing of the international search report
29 July, 2003 (29.07.03)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl⁷ G02B 5/26 G02B 5/28 G02B 5/08 G03F 1/16
G03F 7/20 H01L 21/027 G21K 1/06

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl⁷ G02B 5/26 G02B 5/28 G02B 5/08 G03F 1/16
G03F 7/20 H01L 21/027 G21K 1/06

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報 1926-1996年
日本国公開実用新案公報 1971-2003年
日本国登録実用新案公報 1994-2003年
日本国実用新案登録公報 1996-2003年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
A	US 6333961 B1 (Nikon Corporation) 2001. 12. 25 全文、全図 & JP 2001-57328 A	1-20
A	JP 2001-237174 A (沖電気工業株式会社) 2001. 08. 31 全文、全図 (ファミリーなし)	1-20

☒ C欄の続きにも文献が列挙されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)
「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
「&」 同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

16. 07. 03

国際調査報告の発送日

29.07.03

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/JP)
郵便番号100-8915
東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)
峰 祐治



2V 7635

電話番号 03-3581-1101 内線 6532

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
A	J P 2 0 0 1 - 2 7 6 9 9 A (株式会社ニコン) 2 0 0 1 . 0 1 . 3 0 全文、全図 (ファミリーなし)	1 - 20